UNIVERZITET SINGIDUNUM

DUŠAN REGODIĆ
DRAGAN CVETKOVIĆ

AUTOMATIZACIJA, PROIZVODNI SISTEMI I RAČUNARSKI INTEGRISANA PROIZVODNJA



BEOGRAD, 2011.

UNIVERZITET SINGIDUNUM

Dušan Regodić
Dragan Cvetković

AUTOMATIZACIJA, PROIZVODNI SISTEMI I RAČUNARSKI INTEGRISANA PROIZVODNJA



BEOGRAD, 2011.

Automatizacija, proizvodni sistemi i računarski integrisana proizvodnja

Autori:
dr Dušan Regodić, redovni profesor
dr Dragan Cvetković, vanredni profesor

Recenzenti:
Prof. dr Slavko Pešić, Mašinski fakultet Univerziteta u Beogradu
Prof. dr Aleksandar Bengin, Mašinski fakultet Univerziteta u Beogradu

Izdavač:
UNIVERZITET SINGIDUNUM
DEPARTMAN ZA INŽENJERSKI MENADŽMENT
Beograd, Bulevar Zorana Đinđića 44

Za izdavača:
Prof. dr Milovan Stanišić

Tehnička obrada:
Dragan Cvetković

Dizajn korica:
Miloš Marković

Godina izdanja:
2011.

Tiraž:
300 primeraka

Štampa:
Mladost Grup
Loznica

ISBN: 978-86-7912-367-1

Sadržaj

Predgovor **vii**

1 Osnove proizvodnje i automatizacije **1**
1.1. Definisanje proizvodnje 2
1.2. Tipovi proizvodnje 6
1.3. Definisanje automatizacije 8
1.3.1. Tipovi automatizacije 9
1.4. Računarski integrisana proizvodnja 16
1.5. Definisanje fabričkih raasporeda 25
1.5.1. Tipovi fabričkog rasporeda 25

2 Ukratko o automatizaciji **29**
2.1. Osnovni elementi automatizovanog sistema 30
2.1.1. Potrebna energija za ostvarenje automatizovanog procesa 30
2.1.2. Sistemi kontrole 32
2.2. Nivoi automatizacije 34

3 Industrijski sistemi kontrole **37**
3.1. Odnos kontinualne i diskretne kontrole 37
3.1.1. Kontinualni kontrolni sistemi 38
3.1.2. Diskretni kontrolni sistemi 42
3.1.3. Oblici kontrole procesa pomoću računara 44

4 Hardverske komponente za automatizaciju i kontrolu procesa **53**
4.1. Senzori 54
4.1.1. Tipovi senzora 54
4.1.2. Klasifikacija mernih grešaka 56
4.1.3. Biološki senzori 57

4.1.4. Geodetski senzori 58
4.2. Aktuatori 58
4.3. Analogno-digitalni pretvarači – A/D 59
4.4. Digitalno-analogni pretvarači – D/A 60

5 Numerička kontrola 61
5.1. Osnove NC tehnologije 61
5.1.1. Osnovne komponente NC sistema 61
5.1.2. NC koordinatni sistemi 62
5.1.3. Sistemi kontrole kretanja 64
5.2. Računarska numerička kontrola 67
5.2.1. Karakteristike CNC-a 68
5.2.2. MCU za CNC 68
5.3. Distribuirana numerička kontrola 69
5.4. Programiranje numerički kontrolisane izrade delova 71
5.4.1. "Ručno" programiranje dela 72
5.4.2. Programiranje dela uz pomoć računara 74

6 Industrijska robotika 77
6.1. Anatomija robota i određeni atributi 77
6.1.1. Zglobovi i spone 78
6.1.2. Uobičajene konfiguracije robota 79
6.1.3. Zajednički sistemi za pokretanje 84
6.2. Završni efektori 84
6.2.1. Hvataljke 84
6.2.2. Alati 85
6.3. Senzori u robotici 86

7 Kontrola upotrebom PLC-a i PC-a 87
7.1. Proces diskretne kontrole 87
7.1.1. Logička kontrola 88
7.2. Programabilni logički kontroleri 92
7.2.1. Komponente PLC-a 93

8 Fleksibilni automatizovani unutrašnji transport 95
8.1. Ciljevi i zadaci oblikovanja unutrašnjeg transporta 96
8.1.1. Izbor transportnih sredstava 98
8.2. Funkcija unutrašnjeg transporta 99
8.2.1. Analiza sistema unutrašnjeg transporta 100
8.3. Projektovanje sistema unutrašnjeg transporta 104
8.3.1. Principi unutrušnjeg transporta 105

8.4. Tipovi opreme unutrašnjeg transporta 106
8.4.1. Industrijska kolica 108
8.5. Sistemi automatizovanog vođenog vozila 109
8.5.1. Kvantitativna analiza AGV sistema 112
8.6. Transportna sredstva sa kontinualnim (neprekidnim) dejstvom 115
8.6.1. Transportna sredstva sa periodičnim dejstvom 116
8.6.2. Trakasti transporteri 118
8.6.3. Valjčasti transporteri – rolganzi 121
8.6.4. Transporteri sa modularnom trakom 123
8.7. Fleksibilni transporteri 126

9 Fleksibilni automatizovani skladišni sistemi 129
9.1. Zadaci i performanse skladišnog sistema 130
9.2. Tipovi opreme skladišnih sistema 134
9.3. Sistemi automatizovanog uskladištenja i/ili iskladištenja 135
9.3.1. Kvantitativna analiza 139
9.4. Skladištenje proizvodnje u toku 140
9.5. Povezivanje transporta i skladištenja sa proizvodnjom i razlozi automatizacije skladišta 144

10 Automatska identifikacija i zapisi podataka 147
10.1. Značaj automatske identifikacije za lance snabdevanja 147
10.2. RFID tehnologija u logističko-distributivnim centrima 150
10.2.1. Tehnološke komponente RFID sistema 151
10.2.2. Podela i osobine RFID tagova 153
10.2.3. Primena RFID tehnologije u industrijskim sistemima 154
10.2.4. RFID tehnološki standardi 157
10.2.5. RFID problemi 160
10.3. Bar-kod optičko predstavljanje podataka 161
10.3.1. Bar-kod kroz istoriju 161
10.3.2. Bar-kod danas 161
10.3.3. Elementi bar-kod tehnologije 162
10.3.4. Simbologija 162
10.3.5. Tipovi bar-kod simbola 164
10.3.6. Uređaji za očitavanje linijskog bar-koda (skeneri) 167
10.3.7. Značaj bar-kod tehnologije u lancu snabdevanja 169

11 Grupna tehnologija 171
11.1. Familije delova 172
11.2. Analiza toka proizvodnje 175
11.3. Projektovanje proizvodnih ćelija 178

12 Fleksibilni proizvodni sistemi **185**
12.1. Istorijski razvoj fleksibilnih proizvodnih sistema . . . 185
12.2. Osnovni pojmovi . . . 186
12.3. Osnovne komponente fleksibilnih proizvodnih sistema . . . 188
12.3.1. FMS obradne ćelije . . . 189
12.4. Sistemi unutrašnjeg transporta i skladištenja . . . 195
12.4.1. Izbor transportnog sistema . . . 199
12.5. Računarski upravljački sistem . . . 202
12.5.1. Pozivanje programa putem obratka . . . 205
12.5.2. Pozivanje obratka putem programa . . . 205
12.6. Tehničke karakteristike fleksibilnih proizvodnih sistema . . . 206
12.7. Matematički model fleksibilnog proizvodnog sistema . . . 208
12.7.1. Kvantitativna analiza fleksibilnih proizvodnih sistema (opšte postavke) . . . 209
12.7.2. Model smetnje ili uskog grla . . . 209
12.7.3. Operativni parametri u FMS . . . 210
12.7.4. Pokazatelji karakteristika sistema . . . 212
12.7.5. Proširen model uskog grla ili smetnje . . . 218

13 Fleksibilne automatizovane protočne linije **223**
13.1. Automatizovane protočne linije . . . 223
13.2. Transport radnih delova . . . 226
13.3. Transfer linije . . . 228
13.4. Optimalni raspored delova . . . 228
13.4.1. Formulacija 0–1 programiranja . . . 229
13.5. Metode redosleda delova . . . 230

14 Fleksibilni automatizovani montažni sistemi **231**
14.1. Osnovi automatizovanih montažnih sistema . . . 232
14.2. Konfiguracija sistema za montažu . . . 233
14.3. Dostavljanje montažnih delova radnim stanicama . . . 235
14.4. Matematički model sistema za montažu . . . 238
14.4.1. Sistem za dostavljanje delova na radnim stanicama . . . 238
14.4.2. Multi-stanice za automatsku montažu sistema . . . 239
14.4.3. Samostalne radne stanice za automatsku montažu sistema . . . 243
14.4.4. Parcijalna ili delimična automatizacija . . . 243

15 Dizajn proizvoda i CAD/CAM u proizvodnom sistemu **247**
15.1. Dizajn proizvoda i CAD . . . 248
15.1.1. Proces dizajna, tj. projektovanja . . . 248
15.1.2. Računarske aplikacije u dizajnu . . . 249

15.2. Hardverske komponente CAD sistema 254
15.3. CAM, CAD/CAM i CIM 257
15.3.1. CAM – *Computer Aided Manufacturing* 258
15.3.2. CAD/CAM 259
15.3.3. CIM – *Computer Integrated Manufacturing* 260
15.4. Razvoj funkcije kvaliteta 261

16 Proces planiranja i konkurentni inženjering 265
16.1. Proces planiranja 265
16.1.1. Proces planiranja za izradu delova 266
16.1.2. Proces planiranja za montažu 267
16.1.3. Praviti ili kupiti? 268
16.2. CAPP – *Computer Aided Process Planning* 269
16.2.1. Pronađeni i preuzeti CAPP sistemi 270
16.2.2. Proizvodni (generativni) CAPP sistemi 271
16.3. Konkurentni inženjering i dizajn za proizvodnju 271
16.3.1. Dizajn za proizvodnju i montažu 273
16.3.2. Ostali ciljevi dizajna proizvoda 275
16.4. Napredno planiranje proizvodnje 276

17 Tehnologije za kontrolu 279
17.1. Istorijski razvoj, cilj i značaj primene koordinatnih mernih mašina 279
17.2. Osnovni pojmovi o metrologiji i koordinatnom merenju 282
17.3. Konstruktivna rešenja numerički upravljane merne mašine i vrste senzora . 286
17.4. Greške rezultata merenja 290
17.4.1. Tačnost i preciznost merenja 292
17.4.2. Ponovljivost merenja 292
17.5. Merna nesigurnost 292
17.5.1. Termalni uticaji na mernu nesigurnost 293
17.5.2. Greške merenja složenih prostornih oblika 294
17.6. Parametri kvaliteta NUMM 296
17.6.1. Uticajni faktori na rezultate merenja NUMM 296
17.6.2. Vrste parametara kvaliteta NUMM 296
17.7. Uticaj operatera na tačnost NUMM 297
17.8. Uticaj okoline na tačnost NUMM 297
17.9. Standardi za prijem i kontrolu NUMM 298
17.10. Koordinatni sistemi 301
17.11. Merni senzori 302

18 Planiranje proizvodnje i sistemi kontrole **303**
18.1. Ukupno planiranje proizvodnje i glavni (*master*) plan proizvodnje 305
18.2. Planiranje materijalnih potreba 306
18.2.1. Ulaz u sistem planiranja materijalnih potreba 307
18.2.2. Kako sistem za planiranje materijalnih potreba radi? 309
18.3. Planiranje kapaciteta 309
18.4. Kontrola pogona 311
18.4.1. Zahtevi za nabavke 312
18.4.2. Planiranje nabavki 312
18.4.3. Progres nabavki 313
18.4.4. Fabrički sistem za prikupljanje podataka 314

19 *Just In Time* i *Lean* proizvodnja **317**
19.1. *Lean* proizvodnja i gubici u izradi 317
19.2. J-I-T proizvodni sistemi 321
19.2.1. *Kanban* planiranje 321
19.3. Autonomija 324
19.3.1. Zaustavljanje procesa 324
19.3.2. Prevencija greški 325
19.3.3. Ukupno produktivno održavanje 326
19.4. Uključenost radnika 328
19.4.1. Kontinuirano poboljšanje 328
19.4.2. Vizuelni menadžment i 5S 329
19.4.3. Standardizovanje radnih procedura 331

Literatura **333**
Sajtovi sa Interneta u vezi sa materijom 336

Predgovor

Računarski integrisana proizvodnja predstavlja novu naučnu disciplinu. U srpskoj stručnoj literaturi primetan je manjak tekstova i udžbenika za računarski integrisanu proizvodnju. Na pragu XXI veka razvojem tehnologija i proizvodnih procesa naučnici su uspeli da integrišu obradne procese i obezbede njihovo automatsko regulisanje i upravljanje. Krajem XX veka unapređen je proces automatizacije proizvodnje i integrisani su tokovi informacija i materijala. Razvoj obradnih sistema, kao i računarske tehnologije, bili su od presudnog uticaja za razvoj i integraciju novih generacija metroloških sistema, zasnovanih na elementima fleksibilne automatizacije. Zadatak kontrole u industriji bio je da se obezbedi funkcija proizvoda, uz visoke tolerancije sastavnih delova. Uspostavljanjem koncepta serijske proizvodnje uveden je princip zamenjivosti delova, pri čemu je kontrola dobila novu ulogu (serijalnost i povećanje tačnosti). Danas se roboti inegrišu u proizvodnju delova, transport i montažu finalnih proizvoda i na taj način zamenjuju čoveka u proizvodnom procesu.

Razvojem i uvođenjem novih obradnih sistema, povećana je tačnost, kompleksnost i fleksibilnost obrađenih delova. Kontrolom se identifikuje geometrijska tačnost obrađenog dela i parametri za upravljanje procesom obrade (podešavanje alata, parametri proizvodnje i slično). Krajnji cilj CIM koncepta je na integraciji projektovanja, proizvodnje i geometrijske inspekcije. Ova integracija je uslov bez koga nije moguće izvršiti optimizaciju i upravljanje kvalitetom.

Autori su u udžbeniku obradili osnove proizvodnje i automatizacije, industrijske kontrolne sisteme, hardverske komponente za automatizaciju i procese kontrole, numeričku kontrolu, industrijske robote, posebnu kontrolu uz upotrebu PLC i personalnih računara, fleksibilni automatizovani unutrašnji transport i skladišne sisteme, automatsku identifikaciju i prikupljanje podataka.

U većem delu udžbenika autori su posvetili posebnu pažnju fleksibilnim proizvodnim sistemima i automatizovanim protočnim linijama, fleksibilnim automatizovanim montažnim sistemima, tehnologijama za kontrolu (NUMM), planiranju proizvodnje i CAD/CAM u proizvodnim sistemima, procesima planiranja i konkurentnom inženjeringu, planiranju proizvodnje i kontrolnim sistemima, *Just-In-Time* i *Lean* proizvodnji.

U udžbeniku se posebno analiziraju ciljevi optimizacije – upravljati proizvodnjom bez defekata, smanjenje broja operacija mašinske obrade, skraćenju vremena međufaznih merenja i obezbeđenju pouzdanih podatke za naredne operacije grupnih tehnologija. Objedinjeno svi nabrojani ciljevi govore o dostizanju visokog kvaliteta proizvoda za što kraće vreme.

Proizvodno inženjerstvo početkom XXI veka predstavlja sve više simbiozu računarskih i proizvodnih tehnologija, što se odnosi i na kontrolne sisteme, koji se koriste u proizvodnoj kontroli i završnim merenjima. Primena konvencionalnih metroloških sistema i procedura koje ih podržavaju, postala je ograničavajući faktor u smislu fleksibinosti i tačnosti merenja.

Knjiga je namenjena studentima Univerziteta Singidunum i inženjerima koji se bave računarski integrisanom proizvodnjom, proizvodnom tehnologijama i njenim sastavnim delovima, jer su na jednom mestu date sve potrebne informacije, uključujući i praktičnu primenu na različitim klasama objekata i različitim oblastima proizvodnje. Pored toga knjigu mogu koristiti studenti master i doktorskih studija za oblast Naprednih proizvodnih tehnologija.

Uvereni smo da će udžbenik svojom problematikom zainteresovati sve one koji žele da uvedu napredne proizvodne tehnologije u proizvodni proces. Povećanje kompleksnosti i fleksibilnosti, uz sve oštrije zahteve u smislu tačnosti, danas se ogledaju u razvoju i primeni koncepta upravljanja kvalitetom komformnosti u realnom vremenu. Autori, upravo iz tih razloga, u udžbeniku posebno razmatraju serije međuoperacijskih kontrola i modele upravljanja proizvodnjom, tako da sve greške i odstupanja geometrije finalnog proizvoda budu u okviru granica projektovanog tehnološkog procesa. Želja autora je da se kroz predmet Kompjuterski integrisana proizvodnja - CIM budući inženjeri pripreme za optimizaciju proizvodnog procesa. Krajnji cilj je realizacija proizvoda visokog kvaliteta, smanjenju troškova, minimiziranju ukupnog vremena izrade uz primenu postojeće tehničko-tehnološke opremljenost ili naprednih proizvodnih tehnologija.

Na kraju je prikazan spisak literature, s tim što treba napomenuti da je korišćena literatura prikazana na krajnje proizvoljan način.

Sledi jedna napomena. Deo knjige, poglavlja 1, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14 i 17, napisao je Dušan Regodić, a preostali deo, poglavlja 2, 3, 4, 5, 6, 7, 15, 16, 18 i 19 napisao je Dragan Cvetković.

Neizmernu zahvalnost dugujemo porodicama za svesrdnu podršku i strpljenje tokom izrade udžbenika. Na kraju, bili bismo veoma zahvalni i čitaocima na njihovom mišljenju, uočenim greškama i primedbama koje se mogu poslati elektronskim putem na sledeće adrese: dregodic@singidunum.ac.rs i dcvetkovic@singidunum.ac.rs.

Beograd, juli 2011. godine *Autori*

Glava 1

Osnove proizvodnje i automatizacije

Tehnologija (od grčkih reči *tehnos* – zanat, *logos* – nauka) je nauka koja proučava procese i postupke prerade sirovina (ruda i sl.) u polufabrikate i gotove proizvode. Ona obuhvata materijalne i nematerijalne procese i deli se na:

- neproizvodnu ili nematerijalnu,
- proizvodnu ili materijalnu tehnologiju.

Neproizvodne tehnologije proučavaju problematiku transformacije ili prerade energije i informacija, transporta i organizacije transporta, skladištenja, čuvanja i ispitivanja materijala i proizvoda i sl.

Proizvodne tehnologije su tehnologije prerade sirovina i izrade polufabrikata i proizvoda različitih tipova i namena (alatnih mašina, automobila, aviona, brodova). **To su tehnologije kojima se menja**:

- **suština materije** (dobijanje gvožđa, čelika, bakra i drugih metala, granulata za izradu sinterovanih delova i delova od plastike, drobljenje, mlevenje i rastvaranje sirovina, ...),
- **oblik, dimenzije i karakteristike delova i proizvoda**,
- **struktura materijala i estetski izgled proizvoda** (termička i hemijsko-termička obrada, površinska zaštita, tehnologija modifikovanja površina, ...).

Razvoj tehnologija je inicirao veliki broj postupaka izrade proizvoda u različitim oblastima života, tako da se prema nameni proizvodne tehnologije dele na:

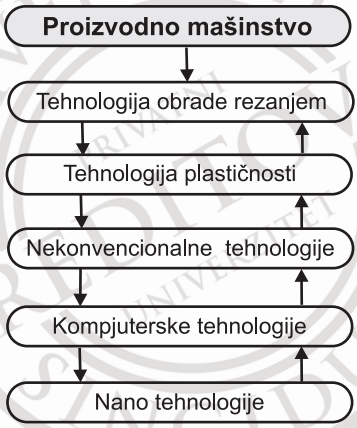
- tehnologije mašinogradnje,
- tehnologije prerade plastičnih masa,
- tehnologije prerade drveta,
- tehnologije prerade papira,

- tehnologije prehrambene industrije,
- tehnologije dobijanja cementa itd.

Termin proizvodno mašinstvo kod nas je nastao po uzoru na *production engineering* (proizvodno inženjerstvo) koji se koristi u Evropi i Japanu, dok je u Americi ekvivalentan termin *manufacturing engeenering* (tehnološko inženjerstvo) a obuhvata sve industrijske aktivnosti.

Proizvodno mašinstvo predstavlja osnovnu naučnu disciplinu proizvodne prakse i sadrži generalni kompleks aktivnosti za dobijanje industrijskih proizvoda. Obuhvata sredstva i metode proizvodnje u industriji. Proizvodno mašinstvo obuhvata sredstva i metode proizvodnje u industriji. Proizvodno mašinstvo obuhvata tri osnovne oblasti i to: proizvodne tehnike, proizvodne tehnologije i proizvodnu kibernetiku.

Opšta podela i klasifikacija proizvodnih tehnologija u proizvodnom mašinstvu prikazana je na slici 1.1.



Slika 1.1. *Osnovna podela proizvodnih tehnologija u mašinstvu*

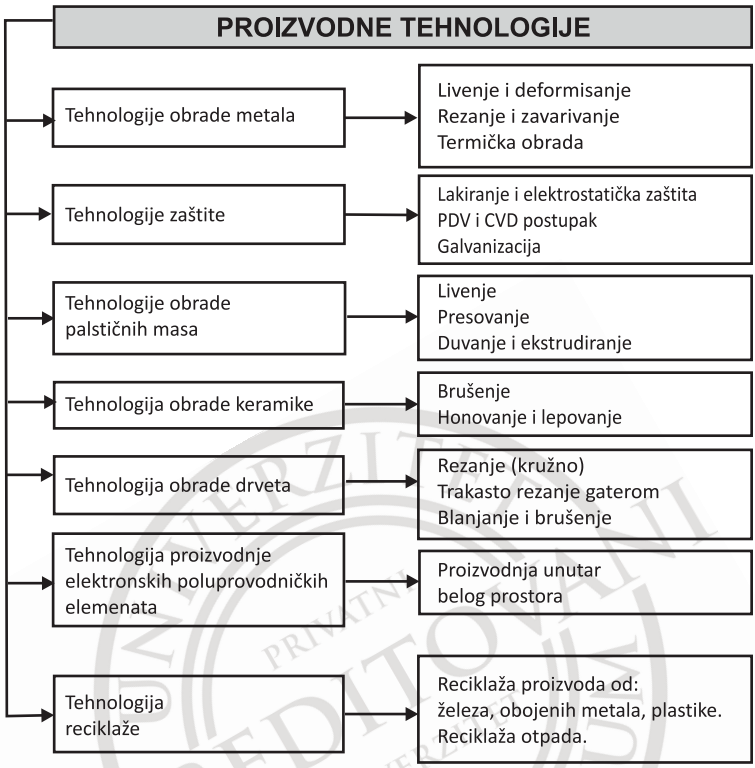
Proizvodne tehnike obuhvataju široki spektar mašina, robota, automatizovanih sistema za rukovanje materijalom, sistema za automatizovanu montažu i fleksiblinih tehnoloških sistema.

Proizvodne tehnologije obuhvataju konvencionalne mehaničke tehnologije, nekonvencionalne tehnologije, kompjuterske tehnologije i nove visoke tehnologije mikro i nano koje su u sprezi sa novom generacijom konstrukcionih materijala (slika 1.2).

1.1. Definisanje proizvodnje

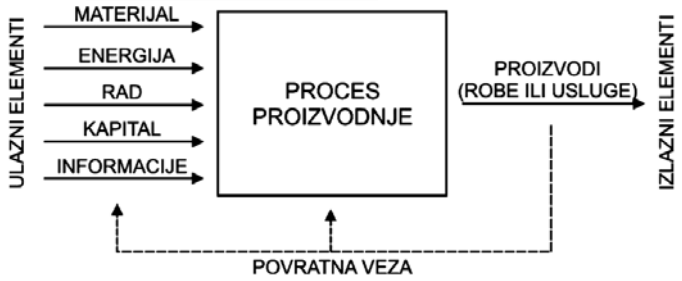
Proizvodnja je proces koji se odnosi na neposrednu realizaciju proizvoda, odnosno transformaciju ulaznog materijala u gotove proizvode koji imaju vrednost na tržištu.

Na slici 1.3. prikazan je proces proizvodnje kao proces pretvaranja ulaznih elemenata u izlazne.



Slika 1.2. *Proizvodne tehnologije*

U ulazne elemente spada sve ono što je potrebno za obavljanje procesa proizvodnje: materijal (ulazne sirovine, gotove komponente), energija (električna, gas, komprimovani vazduh, para), rad (mašina i ljudi), kapital (finansijska sredstva) i informacije (dokumentacija za proizvodnju), a izlazni elementi su određene vrste proizvoda (hardverski, procesni, softverski proizvodi ili usluge), kao rezultat procesa proizvodnje.



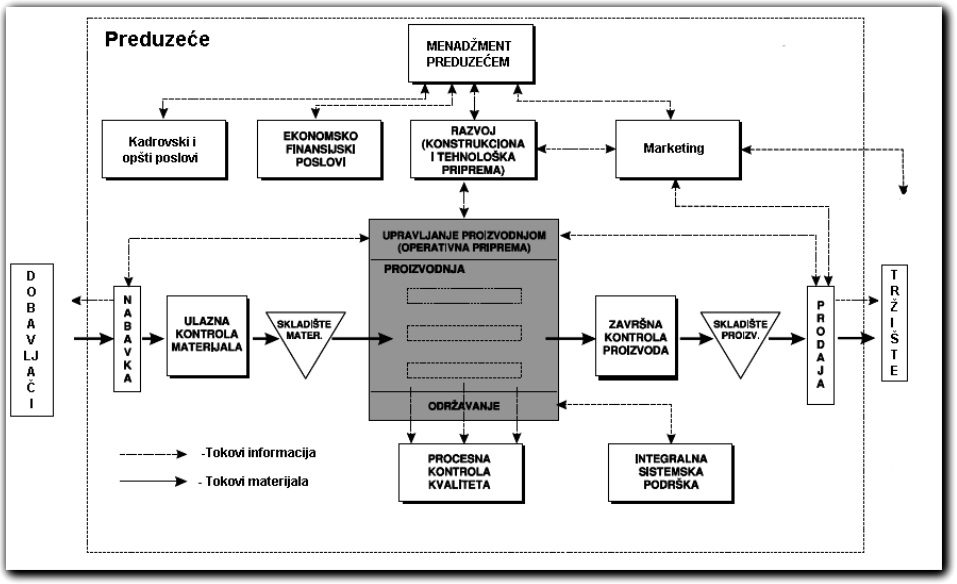
Slika 1.3. *Proces proizvodnje kao proces transformacije*

Proizvodi se izrađuju kombinovanjem ručnog rada, mašina, alata i energije. Proces transformacije obično obuhvata niz koraka, a svaki korak dovodi materijale bliže željenom finalnom stanju. Pojedinačni koraci se pominju kao proizvodne operacije.

U proizvodnju se mogu svrstati sledeći procesi:

- procesi izrade delova (procesi obrade),
- procesi montaže,
- procesi unutrašnjeg transporta, i
- procesi skladištenja (ulaznog materijala, poluproizvoda i gotovih proizvoda).

Na slici 1.4. je prikazana opšta šema procesa u jednom proizvodnom preduzeću.



Slika 1.4. *Opšta šema procesa u proizvodnom preduzeću*

Razvoj proizvoda se odnosi na projektovanje i razvoj, odnosno osvajanje novih proizvoda i on obuhvata sledeće procese:

- utvrđivanje ulaznih zahteva (karakteristika) za proizvod,
- projektovanje proizvoda (izrada konstrukcione dokumentacije),
- projektovanje tehnološke dokumentacije za proces proizvodnje.

Proizvodnja se odnosi na neposrednu realizaciju proizvoda, odnosno transformaciju ulaznog materijala u gotove proizvode. U proizvodnju se mogu svrstati sledeći procesi:

- procesi izrade delova (procesi obrade),
- procesi montaže,
- procesi unutrašnjeg transporta i

- procesi skladištenja (ulaznog materijala, poluproizvoda i gotovih proizvoda).

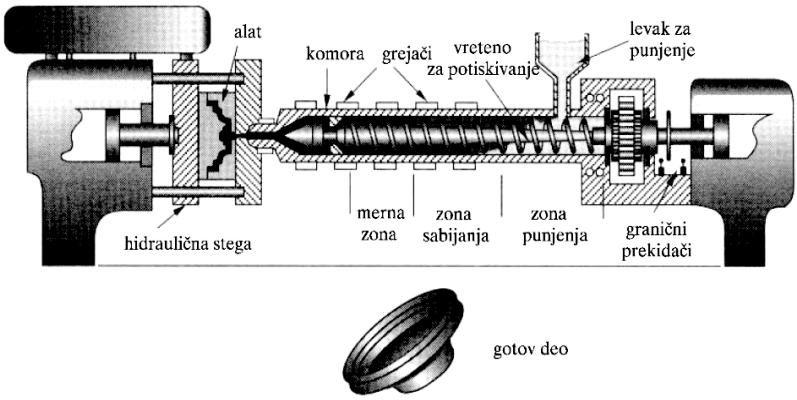
Kontrola proizvoda se odnosi na različita kontrolisanja i ispitivanja u toku realizacije proizvoda i najčešće obuhvata:

- ulaznu kontrolu materijala,
- procesnu kontrolu kvaliteta, i
- završnu kontrolu proizvoda.

Upravljanje proizvodnjom se odnosi na upravljačke procese i aktivnosti, neophodne za efektivno i efikasno odvijanje proizvodnje. Tu spadaju:

- planiranje proizvodnje – utvrđivanje operativnog plana na osnovu zahteva prodaje,
- provera kapaciteta, materijala, alata – izdavanje naloga za nabavku materijala i alata,
- terminiranje i lansiranje proizvodnje (izdavanje radnih naloga za proizvodnju i trebovanja materijala i alata),
- praćenje proizvodnje (preko radnog naloga),
- izveštavanje o realizovanoj proizvodnje,
- analiza utrošaka u procesu proizvodnje.

Postoji široka raznovrsnost organizacija koje proizvode robu na industrijski način. One se mogu podeliti na dva tipa, u zavisnosti od prirode njihovih proizvodnih operacija. Ta dva tipa su proizvodne i procesne industrije. Proizvodne organizacije tipično se identifikuju sa diskretnom/komadnom proizvodnjom: avioni, automobili, računari, mašine alatljike i komponente koje čine ove proizvode. Procesne industrije predstavljaju se preko hemikalija i plastike, prehrambenih i naftnih proizvoda, čelika, cementa i drugih proizvoda. Na slici 1.5 je prikazan proces ubrizgavanja se primenjuje za proizvodnju elektro delova, zaptivača, kutija, poklopci za flaše, vešalice, drške.



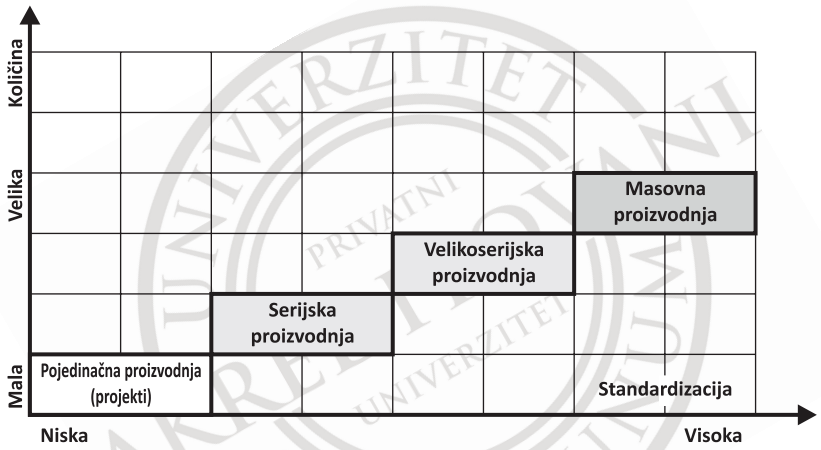
Slika 1.5. *Ubrizgavanje plastike*

1.2. Tipovi proizvodnje

Svi procesi proizvodnje se, kako je prikazano na slici 1.4., s obzirom na obim (količinu) proizvoda mogu klasifikovati na:

- pojedinačnu (maloserijsku) proizvodnju,
- serijsku proizvodnju,
- veliko serijsku proizvodnju,
- masovnu proizvodnju.

Četiri tipa proizvodnje zavise od obima proizvodnje, kao što je prikazano na slici 1.6.



Slika 1.6. *Opšta šema procesa u proizvodnom preduzeću*

Pojedinačna (maloserijska) proizvodnja se odnosi na proizvodnju jednog ili nekoliko proizvoda. Ovakav tip proizvodnje se pojavljuje kod preduzeća koja rade isključivo po porudžbini kupca - naručioca (projektni biroi, građevinska preduzeća, zanatlijske radnje, alatnice, serviserske radionice itd.). U ovaj tip proizvodnje spadaju projekti, odnosno veliki i skupi proizvodi koji se izrađuju po ugovoru sa naručiocem (građevinski objekti, brodovi, avioni, specijalna postrojenja) i proizvodnja specijalnih proizvoda, odnosno proizvoda koji nisu u standardnoj ponudi preduzeća, npr. šivenje garderobe, izrada obuće po zahtevu, izrada specijalnog alata, kao i drugi slični radovi. Ako isključimo projekte, kao posebnu vrstu proizvoda, osnovne karakteristike pojedinačne proizvodnje su:

- lansira se jedan (ili nekoliko komada) proizvod i to tek kada je poručen,
- sredstva rada su fleksibilna i univerzalna (da mogu da se koriste za širok asortiman različitih proizvoda),
- standardizacija postupaka rada je na veoma niskom nivou (pošto je svaki proizvod praktično nov, malo se postupaka u realizaciji proizvoda može unapred definisati, odnosno velik je nivo improvizacije),

- podela rada je na niskom nivou (često jedan izvršilac obavlja sve aktivnosti u realizaciji proizvodnje – i definisanje karakteristika proizvoda, i projektovanje proizvoda i tehnologije rada, i samu izradu proizvoda),
- osposobljenost izvršilaca je na veoma visokom nivou (jedan izvršilac obavlja sve poslove ili velik deo poslova u realizaciji proizvoda; alatničari koji izrađuju specijalne alate, krojačke ili obućarske zanatlije moraju da budu najsposobniji u svojoj struci).

Serijska proizvodnja se odnosi na proizvodnju manjih serija istog proizvoda (nekoliko desetina, nekoliko stotina, pa i nekoliko hiljada proizvoda u seriji). Ovakav tip proizvodnje se pojavljuje kod preduzeća koja u svom programu proizvodnje imaju širok asortiman različitih proizvoda sa relativno malim količinama. Primeri serijske proizvodnje su pekare, mašinske radionice za izradu delova ili proizvoda u manjim serijama, obrazovanje, pravljenje nameštaja i slično. Osnovne karakteristike serijske proizvodnje su:

- lansira se serija proizvoda (ili šarža) i serija prolazi kroz ceo tok proizvodnje,
- sredstva rada treba da su dovoljno fleksibilna i univerzalna, a ne moraju da budu naročito produktivna (da mogu da se koriste za širok asortiman različitih proizvoda),
- standardizacija postupaka rada je na višem nivou (sam proizvod i tehnologija su već osvojeni),
- podela rada je na višem nivou (proizvod u svom procesu proizvodnje prolazi kroz različite operacije, a svaku operaciju obavlja drugi izvršilac na svom radnom mestu),
- osposobljenost izvršilaca je na relativno visokom nivou (jedan izvršilac obavlja određenu vrstu operacije, ali mu dolaze veoma različiti proizvodi, pa mora da ima šira znanja).

Velikoserijska proizvodnja se odnosi na proizvodnju velikih količina određenih proizvoda (nekoliko hiljada, desetina hiljada ili čak stotina hiljada proizvoda u seriji). Ovakav tip proizvodnje se pojavljuje kod preduzeća koja u svom programu proizvodnje imaju relativno uzak asortiman proizvoda sa velikim količinama, obično za nepoznatog kupca. Potražnja na tržištu je uglavnom stabilna. U proizvode, koji su rezultat ovakve proizvodnje, spadaju automobili, televizori, kućni aparati, računari i većina robe široke potrošnje. Osnovne karakteristike veliko serijske proizvodnje su:

- lansira se serija proizvoda (ili šarža) i serija prolazi kroz ceo tok proizvodnje,
- sredstva rada su produktivna i na visokim nivou mehanizacije i automatizacije, a ne moraju da budu fleksibilna (naglasak je na što bržoj realizaciji proizvodnje zbog velikih količina),
- standardizacija postupaka rada je na visokom nivou (sam proizvod i tehnologija su već osvojeni, dokumentacija za proizvodnju je detaljna),
- podela rada je na visokom nivou (proces proizvodnje je raščlanjen na još više operacija, a pojedine operacije su još prostije da bi takt proizvodnje bio kraći),

- osposobljenost izvršilaca je na nižem nivou (jedan izvršilac obavlja određenu vrstu operacije, uvek na istom ili veoma sličnom proizvodu, pa ne mora da ima šira znanja).

Masovna proizvodnja se odnosi na proizvodnju veoma velikih količina jednog ili nekoliko različitih proizvoda (nekoliko stotina hiljada ili nekoliko miliona jedinica). Ovakav tip proizvodnje se pojavljuje kod preduzeća koja u svom programu proizvodnje imaju jedan ili nekoliko proizvoda sa veoma velikim količinama, obično za nepoznatog kupca. Ovakva preduzeća su izgrađena za određeni proizvod i proizvode ih tokom cele godine (rafinerije nafte, cementare, šećerane, hidro i termoelektrane itd.). Osnovne karakteristike masovne proizvodnje su:

- proizvodnja je neprekidna i proces traje 24 časa neprekidno,
- sredstva rada su namenska (namenjena samo za određeni proizvod), veoma produktivna i na veoma visokom nivou automatizacije,
- standardizacija postupaka rada je na veoma visokom nivou (sam proizvod i tehnologija su već osvojeni, dokumentacija je veoma detaljna – postoje detaljne procedure i uputstva za rad i održavanje svakog postrojenja),
- podela rada je na veoma visokom nivou (proces proizvodnje je raščlanjen na još više operacija, a pojedine operacije su još prostije da bi takt proizvodnje bio kraći),
- osposobljenost izvršilaca je na niskom nivou.

1.3. Definisanje automatizacije

Automatizacija je tehnologija koja se odnosi na primenu mehaničkih, elektronskih i računarskih sistema u radu i upravljanju proizvodnjom. Automatizacija se uvodi radi:

- povećanje radne produktivnosti,
- smanjenje troškova radnika,
- otklanjanje radnih nedostataka radnika,
- smanjenje rutinskih kancelarijskih i fizičkih poslova,
- unapređenje bezbednosti radnika,
- unapređenje kvaliteta proizvoda,
- optimizacija vremena proizvodnje,
- realizacija teško izvodljivih operacija.

Automatizacija uključuje:

- računarske sisteme za planiranje, prikupljanje podataka i odlučivanje u proizvodnji,

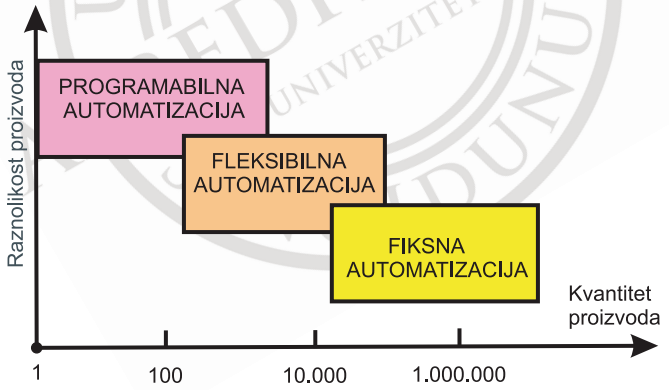
- upravljanje sa povratnom spregom i računarsko upravljanje procesom,
- automatske sisteme pregleda za kontrolu kvaliteta,
- automatske sisteme unutrašnjeg transporta i skladištenja,
- industrijske robote,
- automatske mašine alatljike za obradu delova,
- automatske montažne mašine.

Automatizovane industrije koje koriste ove tipove sistema uključuju: preradu metala, elektroniku, automobilsku industriju, mašinogradnju. vazduhoplovstvo i mnoge druge.

1.3.1. Tipovi automatizacije

Jedan od mogućih načina klasifikacije automatizovanih proizvodnih sistema na tri osnovna tipa, slika 1.7:

1. fiksna automatizacija,
2. fleksibilna automatizacija, i
3. programabilna automatizacija.



Slika 1.7. *Raznolikost u funkciji količine proizvoda za atomatizovane proizvodne sisteme*

Fiksna automatizacija je sistem u kome je redosled operacija obrade (ili montaže) fiksiran sa konfiguracijom namenske opreme. Operacije u redosledu obično su jednostavne. To je integracija i koordinacija mnogih lakvih operacija u neki deo opreme koja čini slozeni sistem. Tipična svojstva i fiksne automatizacije su:

- velika početna investicija,
- veliki obim proizvodnje,
- relativno nefleksibilna u prilagođavanju izmenama proizvoda.

Ekonomska opravdanost za fiksnu automatizaciju nalazi se u proizvodima sa bilo velikim obimom tražnje. Veliki početni troškovi opreme mogu da se podele na vrlo veliki broj jedinica, što čini jedinične troškove privlačnim u poređenju sa alternativnim metodama proizvodnje. Primeri fiksne automatizacije uključuju mehanizovane montažne linije (započete oko 1913. – proizvod se kretao duž mehanizovanih konvejera, ali se na radnim mestima duž linije ručno radilo) i transfer linije (otpočete oko 1924.).

U programabilnoj automatizaciji proizvodna oprema se projektuje sa mogućnošću izmene redosleda operacija da bi se prilagodila različitim konfiguracijama proizvoda. Redosled operacija se kontroliše pomoću programa, koji je skup instrukcija kodiranih tako da ih sistem moze čitati i interpretirati. Novi programi mogu da se pripreme i unesu u opremu da bi se proizveli novi proizvodi. Svojstva koja odlikuju programabilnu automatizaciju uključuju:

- veliku investiciju u univerzalnu opremu,
- mali obim proizvodnje u odnosu na fiksnu automatizaciju,
- fleksibilnost u vezi sa izmenama u konfiguraciji proizvoda,
- veliku pogodnost za srednjeserijsku proizvodnju.

Automatizovani proizvodni sistemi koji su programabilni upotrebljavaju se u proizvodnji malog i srednjeg obima. Delovi ili proizvodi tipično se rade u serijama. Za proizvodnju svake nove serije različitog proizvoda sistem mora da se reprogramira sa skupom mašinskih instrukcija koje odgovaraju novom proizvodu. Fizička priprema mašine takođe mora da se uradi: Moraju da se postave alati, delovi pribora moraju da se pričvrste na mašinski sto i moraju da se unesu potrebna podešavanja mašine.

Ova procedura prelaza zahteva vreme. Prema tome, tipičan ciklus za dati proizvod uključuje period u kome priprema i reprogramiranje zahtevaju mesto, posle čega sledi period u kome se proizvodi serija. Primeri programabilne automatizacije uključuju numerički upravljane mašine alatljike (prvi prototip demonstriran 1952) i industrijske robote (početne primene oko 1961. godine), mada tehnologija ima svoje korene u Jacquardovom razboju (1801. godine).

Fleksibilna automatizacija je proširenje programabilne automatizacije. Koncept fleksibilne automatizacije razvijen je samo za poslednjih 20 godina, a principi se još razrađuju. Fleksibilni automatizovani sistem je sistem koji je sposoban da proizvodi raznovrsne proizvode (ili delove) praktično bez gubitaka vremena za prelaze sa jednog proizvoda na drugi. Nema gubitaka vremena proizvodnje dok se reprogramira sistem i menja fizička priprema (postavljaju alati, delovi pribora, podešava mašina). Prema tome, sistem može proizvoditi različite kombinacije i redoslede proizvoda, umesto da se zhteva da se oni rade u odvojenim serijama. Svojstva fleksibilne automatizacije mogu da se sumiraju kao što sledi:

- velika investicija za sistem prema zahtevima kupca,
- neprekidna proizvodnja promenljivih mešavina proizvoda,

- srednji obimi proizvodnje,
- fleksibilnost u vezi sa promenama dizajna proizvoda.

Bitna svojstva koja izdvajaju fleksibilnu automatizaciju od programabilne automatizacije su:

1. kapacitet menja programe delova bez gubitaka vremena proizvodnje,
2. sposobnost preorijentisanja fizičke pripreme, bez gubitka vremena proizvodnje.

Ova svojstva dopuštaju da automatizovani proizvodni sistem nastavi proizvodnju bez prekida između serija koji su svojstveni programabilnoj automatizaciji.

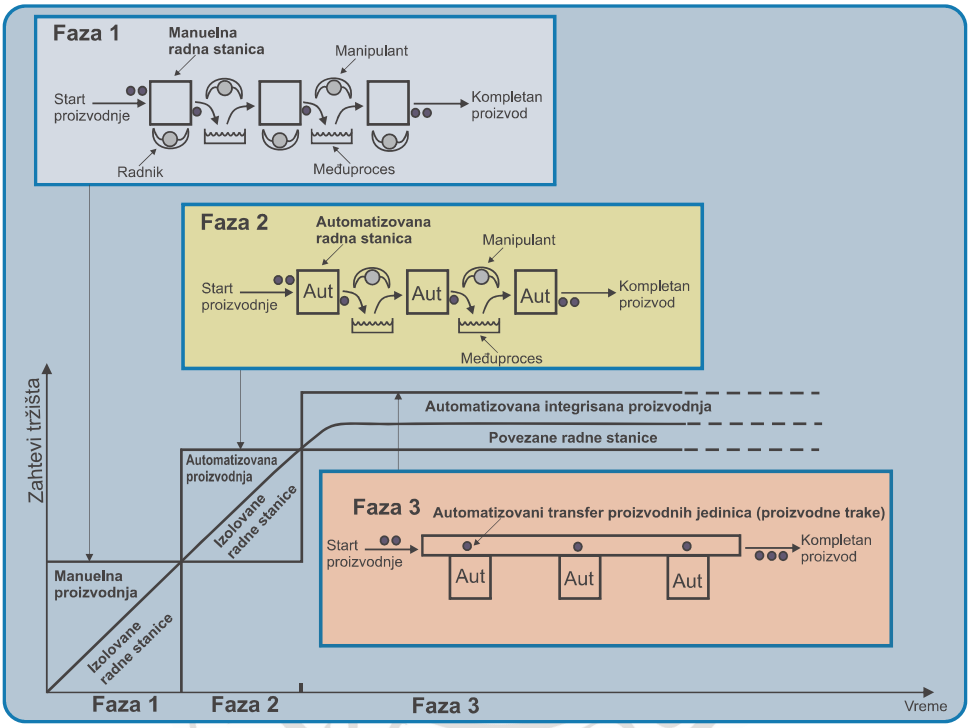
Menjanje programa delova generalno se izvršava pripremanjem program "off-line" na računarskom sistemu i elektronskim prenosom programa do automatizovanog proizvodnog sistema. Zbog toga vreme potrebno za programiranje sledećeg posla ne prekida proizvodnju tekućeg posla. Unapređenja u tehnologiji računarskih sistema neophodna su za tu sposobnost programiranja u fleksibilnoj automatizaciji. Menjanje fizičke pripreme između delova izvršava se vršenjem prelaza "off-line" i onda premeštanjem toga na mesto istovremeno kad sledeći deo dođe u poziciju za obradu. Upotreba paletnih uređaja koji drže delove i prenose ih u poziciju na radnom mestu predstavlja jedan način sprovođenja ovog prilaza. Da bi ovi prilazi bili uspešni, raznovrsnost delova koji se mogu izraditi na fleksibilnom automatizovanom proizvodnom sistemu obično je ograničenija nego u sistemu upravljanom pomoću programabilne automatizacije. Primeri fleksibilne automatizacije su fleksibilni proizvodni sistemi za izvršavanje mašinskih operacija koji datiraju od kasnih šesdesetih godina prošlog veka.

Relativne pozicije tri tipa proizvodnje kao funkcija obima proizvodnje i raznovrsnosti proizvoda za različite faze prikazane su slici 1.8.

U svetu su uvedeni novi termini da bi se opisali razni aspekti tehnologije automatizacije proizvodnje. Skraćenice engleskih naziva korišćene u daljem tekstu:

- Fleksibilni proizvodni sistemi (FMS: Flexible Manufacturing System);
- Računarski integrisana proizvodnja (CIM: Computer Integrated Manufacturing);
- Proizvodnja pomoću računara (CAM: Computer-Aided Design);
- Projektovanje pomoću računara (CAD: Computer-Aided Design);
- Sistem automatizovanog uskladištenja i iskladištenja (AS/RS: Automated Storage and Retrieval System);
- Sistem automatizovanog vođenog vozila (AGVS: Automated Guided Vehicle System);
- Inženjering uz pomoć računara (CAE: Computer Aided Engineering);
- Direktno numeričko upravljanje (CNC: Computer Numerical Control);

- Humano orijentisan CIM (HOCIM: Human Oriented CIM);
- Planiranje i upravljanje proizvodnjom (PPC sisteme: Producton Planning and Control);



Slika 1.8. *Odnos tri tipa proizvodnje kao funkcija obima proizvodnje i raznovrsnosti proizvoda za različite faze*

- Koordinatna merna mašina (CMM: Coordinate Measuring Machine);
- Računarska integracija poslovnih sistema (CIE: Computer Integrated Enterprise);
- Računarski integrisani industrijski sistemi (CAI: Computer Aided Industry);
- Računarski integrisani poslovanje (CIB: Computer Integrated Bussines);
- Komunikacionih sistema (CS: Communication System);
- Upravljanje bazama podataka (DBMS: Data Base Management System);
- Fleksibilne automatizacije (FA: Flexible Automatisation);
- Projektovanje tehnoloških procesa primenom računara (CAPP: Computer Aided Process Planning);

- Sistemi za podršku odlučivanju (DSS: Decision Support System);
- Kontrola kvaliteta pomoću računara (CAQ: Computer Aided Quality)
- Integrisana kontrola kvaliteta pomoću računara (CIQ: Computer Integrated Quality)
- Kompjuterom podržan dizajn i proizvodnja CAD/CAM je akronim (Computer Aided Design/Computer Aided Manufacturing);
- Grupna tehnologija (GT: Group Technology);
- Adaptivno upravljanje (AC: Adaptive Control);
- Numerička kontrola (NC: Numerical Control);
- Računarom numeričko upravljanje (CNC: Computer Numerical Control);
- Direktno numeričko upravljanje (DNC: Direct Numerical Control);
- Planiranje proizvodnje i kontrola (PPC: Production Planning and Control) i
- Integracija aplikacija u preduzeću (EAI: Enterprise Application Integration).

Stara reč, kao što je mehanizacija praktično su iščezle iz tehničkih rečnika. Automatizacija je dinamična tehnologija koja predstavlja neprekidan evolutivan proces. Dokazuje se da je taj proces započet sa industrijskom revolucijom (oko 1770. godine), kada su mašine počele da preuzimaju poslove prethodno izvršavane ručnim radom. Automatizacija je proces tehnološkog razvoja koji će se nastaviti u dogledno vreme.

Naziv NC (Numerical Control) potiče od toga što se upravljanje ostvaruje preko odgovarajućih programa sastavljenih od odgovarajućih naredbi definisanih preko numeričkih veličina (0 i 1). Programska naredba se sastoji iz simbola koji se registruju na bušenoj traci u vidu različitih kombinacija otvora. Svakom otvoru odgovara signal 0 ili 1 koji se registruje iza čitača bušene trake. Na taj način se ostvaruje numeričko upravljanje. Program za upravljanje NC alatnom mašinom se naziva NC izvorni program. NC alatna mašina predstavlja sistem koji se sastoji od pod sistema: alatne mašine, mernog sistema, pogonskog sistema, upravljačke jedinice.

Razvoj računara i nagli pad njihove cene na tržištu omogućio je njihovu primenu u upravljanju alatnim mašinama. Pri tome računar preuzima jedan deo upravljačkih funkcija, koje su kod NC mašina bile rešene hardverskim putem.

Računarom numeričko upravljanje (CNC – Computer Numerical Control) najčešće se definiše kao numeričko upravljanje u koje je integrisan računar. U njegovoj memoriji su smešteni programi za realizaciju nekih ili svih funkcija upravljačke jedinice. Prema uputstvu kompjutersko numeričko upravljanje se definiše kao: *numeričko upravljanje koje sadrži programabilni računar za upravljanje radom alatnih mašina, mernih mašina ili nekoliko jedinica iste vrste koje simultano izvode radne operacije.* Programiranje NC i CNC mašina može da bude: ručno, ručno sa pomagalima (polu automatizovano) i automatizovano (mašinsko).

Izmena bilo koje komponente NC sistema indukovala bi velike troškove, zbog zamene i drugih komponenti sistema, pa se javila potreba za fleksibilnim interfejsom. Ovo je uslovilo veću primenu programabilni logički kontroleri (PLC – Programmable Logic Controler).

Kod PLC sistema zadate funkcije se realizuju softverskim putem. One se unose u vidu programa u memoriju takvih sistema. Sve veću ulogu imaju "inteligentni" kontroleri kojima inteligenciju omogućuje ugrađeni mikro računar, čije svojstvo programibilnosti određuje i njihov naziv. Zadatak PLC sistema je da: preuzme ulazne informacije, prenese ih do procesora, na izlazu ostvari upravljačke instrukcije.

Adaptivno upravljanje je vid upravljanja koji se zasniva na svojstvu adaptacije sistema, a adaptacija ili prilagođavanje sistema je proces menjanja osobina sistema radi postizanja najboljeg, ili u krajnjoj meri, prihvatljivog funkcionisanja u promenljivim uslovima okruženja. Kod AC mašina se režim rada mašine menja u zavisnosti od veličine poremećajnih dejstava za vreme procesa (što nije slučaj kod NC, CNC, PLC sistema). Adaptivno upravljanje karakteriše zatvorena povratna sprega koja se ostvaruje preko mehanizma za adaptaciju. Razlikuju se:

- Granično regulisanje (ACC – Adaptive Control Constraint);
- Optimizaciono regulisanje (ACO – Adaptive Control Optimisation).

Direktno numeričko upravljanje (DNC-Direct Numerical Control) prema se definiše kao *sistem za direktno numeričko upravljanje većeg broja alatnih mašina preko pridodatog procesnog računara.* Na ovaj način je povećan nivo automatizacije uz evidentan visok nivo fleksibilnosti. U opštem slučaju DNC sistem čine dva računara, jedan nadređeni ili "veliki" računar jedan i jedan podređeni ili "mali" računar dva, koji preuzima odgovarajuće programe od računara jedan i memoriše ih u svojoj eksternoj memoriji. Računar dva dostavlja odgovarajući program obrade odgovarajućoj NC alatnoj mašini.

CAD sistem (Computer Aided Design) se definiše kao primena računara u smislu alata za podršku pri kreiranju, analizi, modifikovanju ili optimizaciji neke konstrukcije. Primena računara obuhvata korišćenje odgovarajućeg hardvera i softvera. CAD hardver obuhvata: računar (CPU), jednu ili više grafičkih jedinica, tastaturu i ostale periferijske uređaje (miš, palica, digitajzer...).

CAD softver obuhvata: programe za primenu kompjuterske grafike, aplikacione programe, programe za ostvarivanje komunikacije između različitih CAD sistema.

CAM sistemi predstavljaju računarom podržanu proizvodnju. Ulaz u svaki CAM sistem je opis geometrije predmeta. U prvom koraku je potrebno definisati tehnološki proces što obezbeđuje tzv. CAPP modul (CAPP – Computer Aided Proces Planning). CAPP modul sadrži tri osnovna segmenta:

- ulaz geometrije,
- opis tehnologije,
- generisanje upravljajućih informacija i prateće dokumentacije.

Hardver CAM sistema je sličan hardveru CAD sistema, a softver CAM sistema obuhvata softver:

- CAPP sistema,
- za izvođenje operacija na CNC mašinama i IR.

Osnovni pravac razvoja automatizacije u proizvodnim sistemima usmeren je na automatizaciju projektovanja proizvoda i projektovanje tehnoloških procesa. Automatizacija projektovanja proizvoda uspešno se rešava primenom računara i razvijenih CAD sistema.

Projektovanje tehnoloških procesa primenom računara je veoma složeno i ostvaruje se primenom CAPP (Computer Aided Process Planning) sistema. Oni predstavljaju skup računarom podržanih funkcija, koje potpomažu rad projektanata tehnoloških procesa. Zavisno od strategije razvoja CAPP sistema, postoje tri nivoa podrške koju CAPP sistemi omogućuje projektantu tehnoloških procesa i to:

1. **Niži nivo** podrazumeva primenu računara za memorisanje i pretraživanje podataka, za tehnološke procese koji su prethodno projektovani klasičnim metodama. Prema tome, ovi CAPP sistemi omogućuju, pretraživanje postojećih tehnoloških procesa, koji mogu da posluže kao osnova za projektovanje novog tehnološkog procesa.
2. **Viši nivo** CAPP sistema automatski generišu projekte tehnoloških procesa, za određene delove jednostavnijeg geometrijskog oblika. Projektant tehnoloških procesa u određenim slučajevima koriguje tako izrađene tehnološke procese, prema specifičnostima proizvodnje.
3. **Najviši nivo** razvoja CAPP sistema podrazumeva uključivanje u sistem znanja i ekspertnosti za projektovanje tehnoloških procesa. Tako projektovan CAPP sistem u potpunosti preuzima ulogu projektanta tehnoloških procesa.

Prema datim mogućnostima, strategija najnižeg nivoa CAPP sistema, omogućuje ubrzanje procesa projektovanja a CAPP sistemi najvišeg nivoa potpunu automatizaciju projektovanja.

Sistemi najvišeg nivoa, da bi omogućili potpunu automatizaciju, treba da obezbede vezu između CAD i CAM sistema. Baza podataka i baza znanja CAPP sistema najvišeg nivoa treba biti integrisana sa bazama spregnutih CAD i CAM sistema.

U zavisnosti od načina projektovanja, odnosno od ugrađene logike za odlučivanje, mogu se identifikovati tri sistema za automatizovano projektovanje tehnoloških procesa i to:

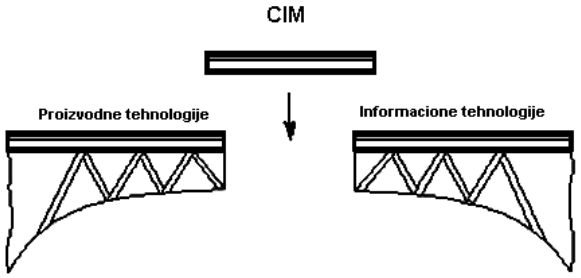
- varijantni,
- generativni,
- sistemi zasnovani na znanju.

Kontrola pomoću računara (CAQ – Computer Aided Quality) predstavljaju odgovor poslovnih sistema na zahteve okruženja u pogledu unapređenja kvaliteta. Na najnižem nivou (1) računar se koristi za obuhvatanje podataka iz proizvodnje. To su podaci iz oblasti merenja. Na drugom nivou (2) je neposredno upravljanje kvalitetom pomoću računara, a na osnovu podataka iz proizvodnje. Na višem upravljačkom nivou (3) su CAQ sistemi u

užem smislu koji sadrže i modul planiranja kontrole kvaliteta i obrade rezultata kontrole kvaliteta. Na najvišem nivou (4) je CIQ sistem (CIQ – Computer Integrated Quality) koji obezbeđuje integraciju svih pod sistema poslovnog sistema uz unapređenje kvaliteta u svakom od njih.

1.4. Računarski integrisana proizvodnja

Zahtevi tržišne ekonomije postavljaju pred preduzeća brojna pitanja i probleme. Kao izlaz iz takve situacije, mnogi poslovni sistemi vide integraciju poslovnih aktivnosti (informacija i procesa). Ovu integraciju omogućio je pre svega brz razvoj informacionih tehnologija u poslednjih nekoliko godina. Svi moderni proizvodni sistemi koji se danas implementiraju upotrebljavaju računarske sisteme. Računar je imao i ima dramatičan uticaj na razvoj tehnologija automatizacije pioizvodnje.



Slika 1.9. *Integracija proizvodnje i informacionih tehnologija*

Jedan od proizvoda tog razvoja jesu i računarski integrisani proizvodni sistemi (**CIM**: Computer Integrated Manufacturing). Oni integrišu sve poslovne informacije i procese počev od nivoa planiranja i upravljanja (strategijski i taktički nivo) pa do operativnog nivoa upravljanja.

U suštini, **CIM** predstavlja savremeni koncept razvoja poslovnih sistema koji nudi pravac rešavanja problema koristeći računar (**C – Computer**) za integraciju (**I – Integrated**) proizvodnih ili poslovnih aktivnosti (**M – Manufacturing**). Integracija proizvodnih i informacionih tehnologija se ne vrši sama za sebe, već ona proizilazi iz osnovnih potreba i ciljeva preduzeća, slika 1.10. Ti ciljevi su najčešće povećanje fleksibilnosti, kvaliteta i produktivnosti. Pogotovu za povećanje produktivnosti je izuzetno bitan ovaj tehnološki faktor. Naravno, ne treba zanemariti ni ostale faktore, pogotovo ljudski, u čijim je rukama znalačko i optimalno korišćenje tehnološkog faktora.

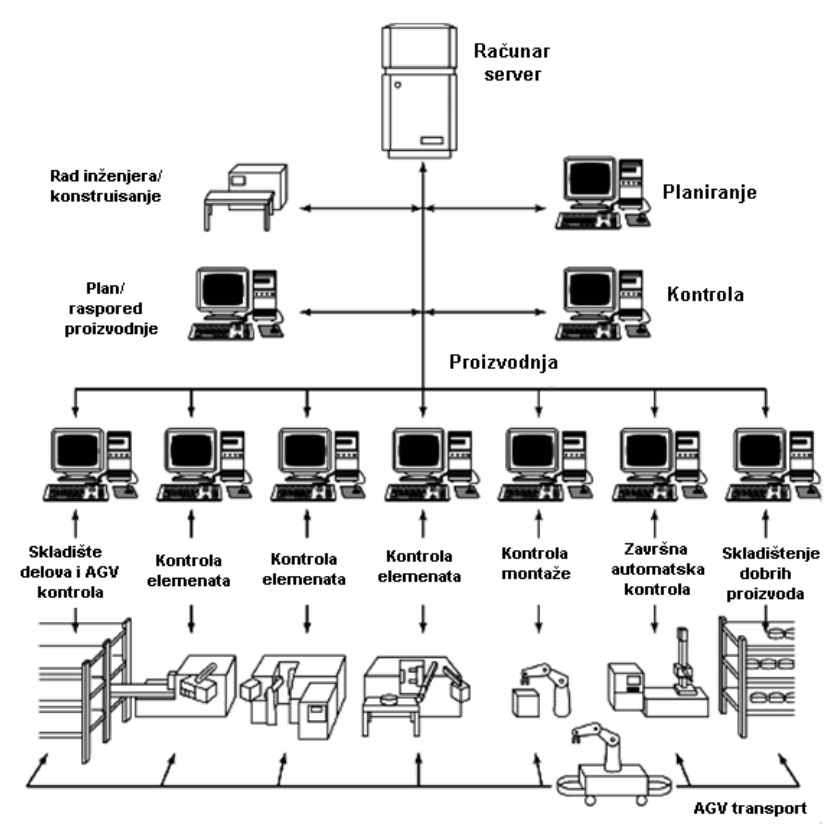
Termin računarski integrisana proizvodnja (CIM) uveden je da označi prodor upotrebe računara u projektovanju proizvoda, planiranju proizvodnje, upravljanju operacijama i izvršavanju raznih funkcija u vezi s poslovanjem neophodnih u proizvodnoj firmi.

Fizičke aktivnosti uključuju celokupnu proizvodnu obradu, montažu, unutrašnji transport, skladištenje i kontrolne preglede koji se izvršavaju na proizvodu. Ove operacije dolaze u direktan kontaki sa proizvodom za vreme proizvodnje. One dodiruju proizvod. Sirovine

ulaze s jedne strane fabrike, a gotovi proizvodi izlaze s druge strane. Fizičke aktivnosti (obrada, montaža, itd) nalaze mesto u fabrici. Funkcije obrade informacija formiraju prsten koji okružuje fabriku, obezbeđujući podatke i potrebno znanje za uspešnu proizvodnju proizvoda. Ove funkcije obrade informacija uključuju:

- poslovne aktivnosti (marketing i prodaju, nabavku, finansije, itd),
- projektovanje proizvoda,
- planiranje proizvodnje,
- upravljanje proizvodnjom.

Ove četiri funkcije formiraju ciklus događaja koji se mora pridružiti fizičkim aktivnostima proizvodnje.

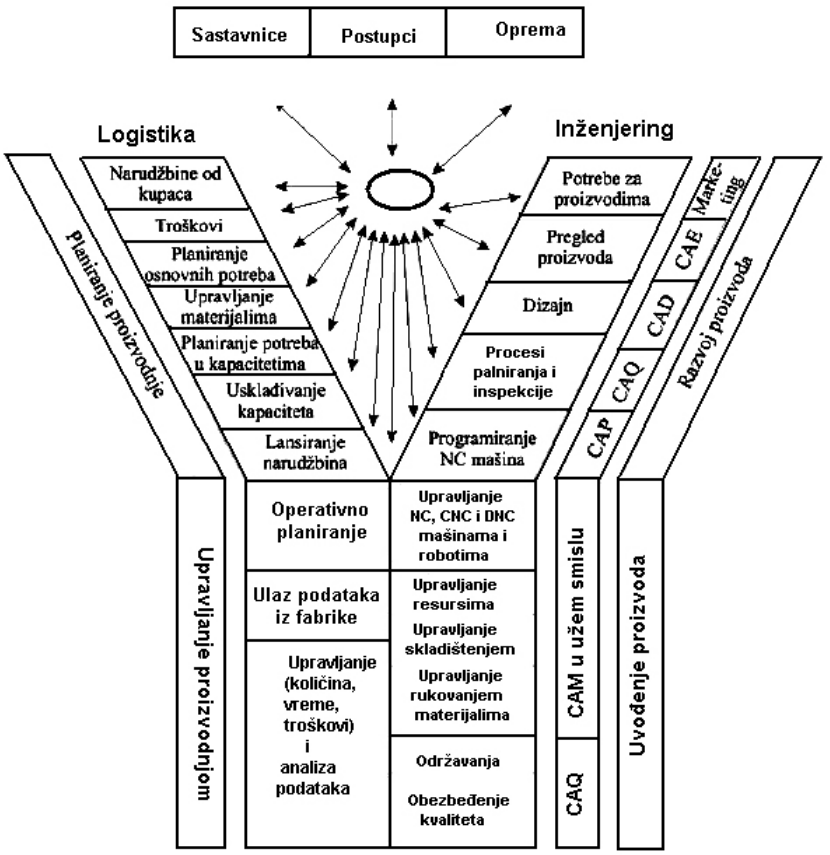


Slika 1.10. *Računarski integrisan proizvodni sistem*

Sada se razmatra razlika između automatizacije i CIM-a. Automatizacija se odnosi na fizičke aktivnosti u proizvodnji. Automatizovani proizvodni sistemi se projektuju za izvršenje obrade, montaže, unutrašnjeg transporta, skladištenja i kontrole kvaliteta sa malim (ili

bez) učešćem ljudi. Prema poređenju, računarski integrisana proizvodnja više se odnosi na funkcije obrade informacija koje su potrebne u podržavanju proizvodnih operacija. CIM obuhvata upotrebu računarskih sistema u izvršavanju četiri tipa funkcija obrade informacija. Baš kao što je automatizacija u vezi sa fizičkim aktivnostima, CIM je u vezi s automatizovanjem aktivnosti obrade informacija u proizvodnji. Rastuće primene računarskih sistema u proizvodnji vode prema računarski automatizovanoj fabrici budućnosti.

CIM predstavlja arhitekturu integrisanja funkcije inženjeringa, marketinga i proizvodnje pomoću informacionih tehnologija, slika 1.11. U širem smislu, CIM obuhvata integraciju svih poslovnih procesa od snabdevača do kupca. CIM se koristi kao strategija za planiranje resursa preduzeća na širokom poslovnom nivou integracije.

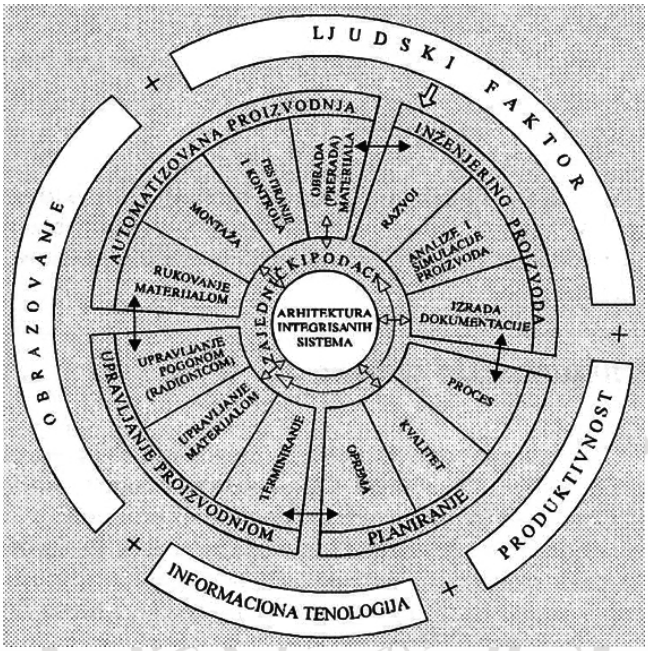


Slika 1.11. *CIM Y-model (Scheer, 2004)*

Da bi se realizovao koncept upravljanja prema ciljevima, potrebno je razviti model ciljeva koji obuhvata najmanje sledeće ciljeve: *fleksibilnost (F), produktivnost (P), kvalitet (Q).*

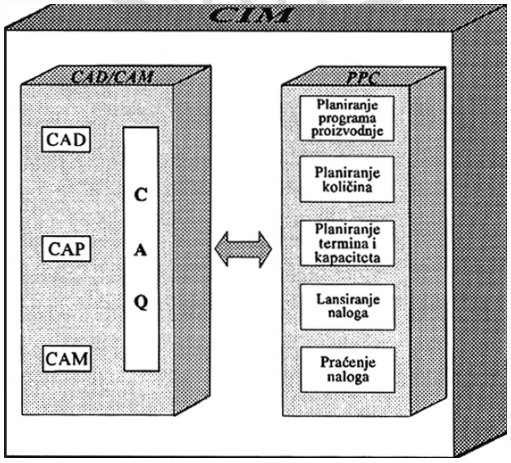
Prva celovita definicija CIM sistema je iz 1980. godine u vidu CIM točka (CASA/SME), gde su u središtu točka dati zajednička baza podataka i ostali zajednički informacioni resursi, slika 1.12. Pristup novim zajedničkim informacionim resursima imaju sve poslovne

funkcije, grupisane u inženjering proizvoda, planiranje proizvodnje, upravljanje proizvodnjom i automatizaciju proizvodnje.



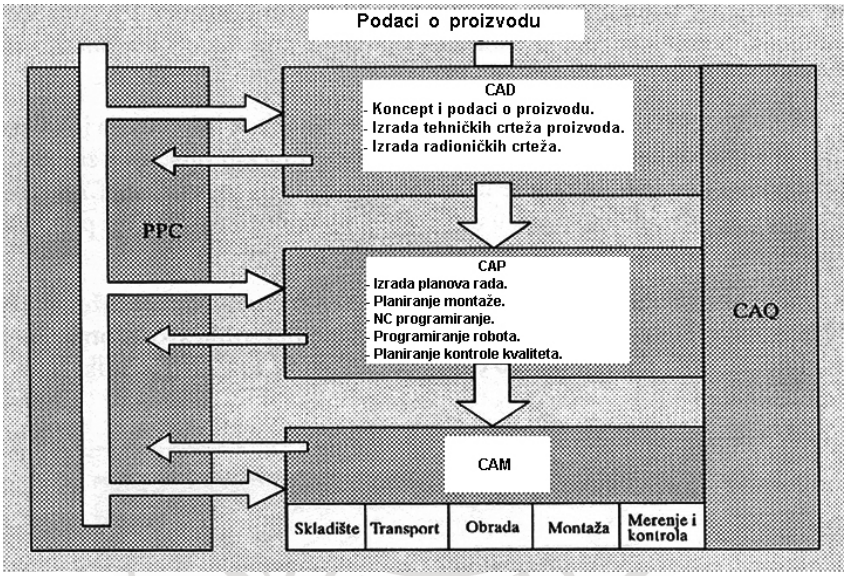
Slika 1.12. *CASA/SME model CIM sistema*

Druga karakteristična definicija CIM sistema proizilazi iz CIM modela koji je 1985. godine razvilo nemačko udruženje AWF, kao što je prikazano na slici 1.13. Po toj definiciji CIM obuhvata informaciono – tehnološke interakcije između CAD, CAP, CAM, CAQ i PPC sistema.



Slika 1.13. *AWF model CIM sistema*

Imajući u vidu postojeće zahteve poslovanja kao i razvoj računarskih tehnologija dolazimo do pojma CIM sistema odnosno računarski integrisana proizvodnja, slika 1.14. Zato je naglasak na I u akronimu CIM. Kod ovih sistema proizvodnja je shvaćena u širem smislu i ne obuhvata samo procese proizvodnje i montaže već i ostale procese poslovnih sistema. Pojam CIM sistema je dalje evoluirao tako da dolazimo do pojma HOCIM sistema sa naglašenom ulogom ljudskih resursa u razvoju CIM sistema i CIE sa naglašenim vezama poslovnog sistema sa ostalim poslovnim sistemima. Kasnije do pojma CAI sistema sa naglašenom integracijom između više poslovnih sistema u okviru iste grane i industrije u celini, i pojma CIB poslovanja u celini.



Slika 1.14. *Helbergov model CIM sistema*

CIM arhitektura je informacioni sistem, koji omogućuje da se u poslovnom sistemu integrišu informacije i proizvodni procesi, tako što se najpre definišu pravci integracije i interfejs između korisnika. CIM arhitekturu čine tri ključna bloka:

- Komunikacije (komunikacije i distribucije podataka);
- Upravljanje podacima (definisanje, memorisanje i korišćenje podataka);
- Prezentacija.

Komunikacioni sistem u CIM okruženju je od fundamentalnog značaja, bez koga je nemoguće ostvariti uspešnu integraciju informacija i procesa. Zbog toga je izučavanje komunikacionih sistema (CS) od sve većeg značaja za uspešno poslovanje.

Ključna definicija komunikacije podacima je da je to: "*kodirana transmisija (prenos) podataka električnim ili optičkim putem*". Komunikacija, kao proces, sastoji se iz tri koraka (tzv. I - P - O model) i to:

- podaci ulaze u CS,
- podaci se obrađuju u CS,
- podaci se predaju na izlazu iz CS-a.

Osnovni koraci (faze) u komunikaciji podacima su:

- prijem podataka,
- ispitivanje podataka,
- odlučivanje o načinu,
- slanje podataka do željenog odredišta.

Osnovni procesi i elementi komunikacije su:

- kodiranje,
- komunikacioni softver,
- paralelni port/serijski port,
- serijski (modemski) kabl,
- modem,
- modularni kabl,
- usluge prenosa,
- lokalne i druge mreže.

Drugi ključni blok, u CIM arhitekturi, je **upravljanje podacima** koje obuhvata definiciju podataka, relacije između njih, arhiviranje i pristup podacima. Značaj ovog bloka postaje sve veći, jer je u industriji instaliran veliki broj raznovrsnih računarskih sistema sa različitim upravljanjem podacima. Da bi se ostvarila integracija različitih sistema potrebno je da **upravljanje podacima obuhvati**:

- suverenitet nad podacima,
- bazu podataka,
- uključivanje lokalnih baza podataka.

Baza podataka je veliki skup međusobno povezanih podataka pomoću softvera za upravljanje bazama podataka (DBMS - "Data Base Management System") napisanog pomoću jednog od programskih jezika. Postoji još jedna, znatno potpunija definicija DB-a i ona glasi: "*Baza podataka je skup međusobno povezanih i usklađenih podataka, skladištenih zajedno bez štetne i nepotrebne redundanse, kako bi na optimalan način služila jednom ili više informacionih sistema (aplikacija) i kako bi podaci u njima bili nezavisni od programa koji ih koriste*".

Treći ključni blok u CIM arhitekturi je prezentacija, koja omogućuje dostavljanje neophodnih podataka do korisnika na nivou radionice ili poslovnih funkcija. Ostvarivanje CIM arhitekture pretpostavlja da se, pri razvoju CIM sistema, respektuju sledeće prepreke: korišćenje standardnih platformi, integracija podataka, osiguravanje investicija u CIM opremu, korišćenje različitih sistema, korišćenje industrijskih standarda i otvorenih interfejsa, smanjenje troškova za podršku aplikacija, kastomizacija rešenja, fazna primena, selektivnost u primeni CIM rešenja, unapređenje poslovnog procesa.

U fazi izrade aplikativnog softvera respektuju se potrebe za preuzimanjem i manipulacijom istih podataka od strane većeg broja korisnika iz različitih funkcija poslovnog sistema. Neki od lanaca integracije su posebno važni kod CIM sistema, kao na primer između: CAD/CAM, CAD/CAM i PPC, PPC i DSS aplikacija.

CIM arhitektura treba da omogući smanjene troškove za podršku aplikacija, jer se pravilno raspoređuju kadrovski resursi i ne vrši se dupliranje mnogih aktivnosti. Time se smanjuje vreme i troškovi izrade i troškovi održavanja aplikacija.

Iz prethodne analize sistema može se zaključiti da CIM arhitektura predstavlja integraciju informacionih i proizvodnih resursa. Integracija ovih resursa ostvaruje se, pre svega, pomoću komunikacione tehnologije. U oblasti proizvodnje koriste se dva osnovna protokola za razmenu podataka bazirana na ISO standardima i to:

- MAP ("*Manufacturing Automation Protocol*"),
- TOP ("*Tehnical and Office Protocol*"),

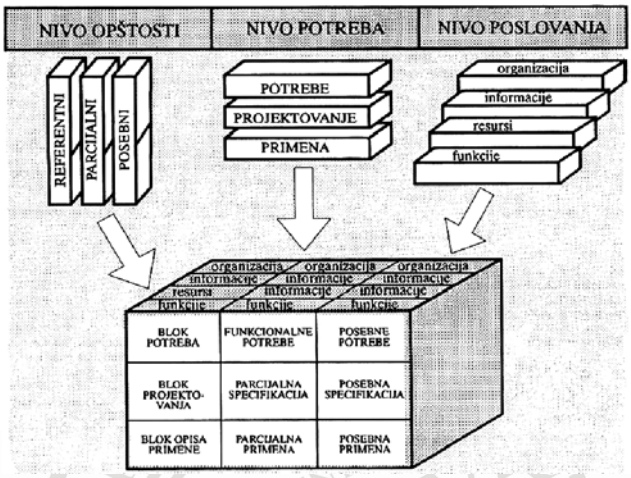
Iako je u to vreme postojalo nekoliko različitih modela CIM sistema, oni su imali nekoliko zajedničkih karakteristika. Svi modeli su vršili integraciju proizvodnih i informacionih tehnologija uvođenjem zajedničkih baza podataka. Baze podataka su mogle biti centralizovane za celo preduzeće i povezane sa ostalim poslovnim funkcijama ili distribuirane po poslovnim funkcijama pa zatim međusobno povezane. Tako su svi modeli koji su nastajali zadržavali tri osnovne karakteristike CIM strukture i bile prilagođene potrebama preduzeća, zahtevima tržišta i važećim standardima.

Karakterističan je i CIM OSA referentni model koji je razvijen u okviru programa Evropske zajednice, a u okviru AMICE. To je CIM referentni model arhitekture otvorene za povezivanje, što znači da svako preduzeće može na ovoj osnovi da gradi svoj CIM model, slika 1.15. Arhitektura CIM OSA referentnog modela može se iskazati u tri dimenzije i to:

- Nivo opštosti: referentni, parcijalni i posebni.
- Nivo primene: potrebe, specifikacije, opis primene
- Nivo poslovanja sa aspekta: funkcija, informacija, resursa, organizacije.

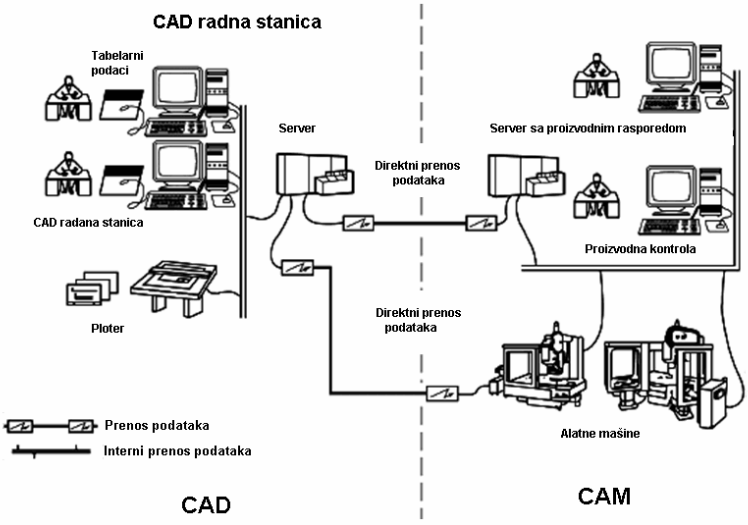
Sa aspekta nivoa opštosti najviši nivo ima referentni nivo na osnovu koga se projektuju parcijalni nivoi a najniži posebni nivo. Upravljanje u CIM modelu može se predstaviti sa većim brojem upravljačkih nivoa. U osnovnom CIM modelu postoje četiri nivoa upravljanja: operativno, funkcionalno, generalno, izvršno. Poslednja dva mogu se spojiti u jedno. Zadatak generalnog upravljanja je da definiše elemente tzv. konceptualnog plana

CIM sistema, koji obuhvata: misiju, ciljeve i opšte pravce razvoja poslovnog sistema, raspoložive resurse, sagledavanje značaja sinergijskog efekta pri integraciji poslovnih pod sistema, organizacioni okvir za razvoj CIM sistema.



Slika 1.15. *CIM/OSA referentni model*

Ciljevi organizovanja CIM sistema proizilaze iz osnovnih ciljeva preduzeća. Prema analizi datoj u literaturi utvrđena je dinamika strategijskih ciljeva. Poslednjih godina dominantni ciljevi su povećanje fleksibilnosti, kvaliteta i produktivnosti. Od poslovnih sistema zahteva se sve veće respektovanje vremena i kvaliteta, uz praktično fiksiranje cena proizvoda, odnosno produktivnosti. Povećanje produktivnosti ostvaruje se na različite načine, ali se uočava da je najveći uticaj tehnološkog faktora.

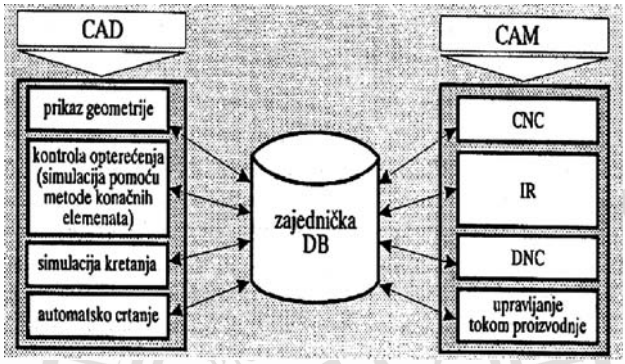


Slika 1.16. *Tok dokumenata u CAD/CAM aplikacijama*

Da bi primena CIM sistema bila uspešna, proizvodne tehnologije treba da budu povišenog nivoa automatizacije i fleksibilnosti kao i pouzdanosti i tačnosti.

CAM sistemi obuhvataju sisteme za pripremu i realizaciju upravljačkih zadataka za **CNC** mašine, industrijske robote i fleksibilne tehnološke ćelije.

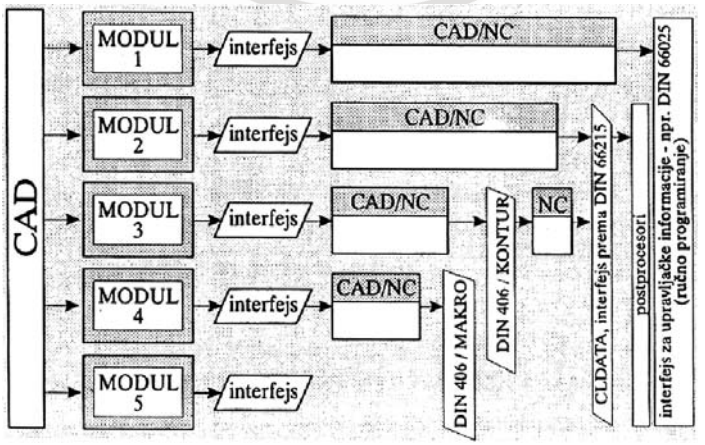
Povezivanje CAD i CAM sistema se vrši u skladu sa povezivanjem bilo koja dva računarska sistema, slika 1.17. Ovaj interfejs međutim ima neke svoje značajne osobenosti. Najčešće se povezivanje vrši preko zajedničke baze podataka. Najvažnija je veza između **CAD** i **NC** modula **CAM** sistema.



Slika 1.17. *Povezivanje CAD/CAM aplikacija*

Dve su osnovne mogućnosti povezivanja **CAD** i **NC funkcija**, slika 1.18:

- Na nivou jezičkog interfejsa, gde CAD generiše geometrijske podatke. Podaci se dalje obrađuju preko željenih procesora (**NC** jezika, kao npr. **APT**, **EXAPT**);
- Na nivou desktriptivnih interfejsa, tj.interfejsa podataka. To se ostvaruje pomoću **IGES** post procesora (npr. **CADCLP**) ili kao individualno rešenje kod nestandardnih formata podataka.



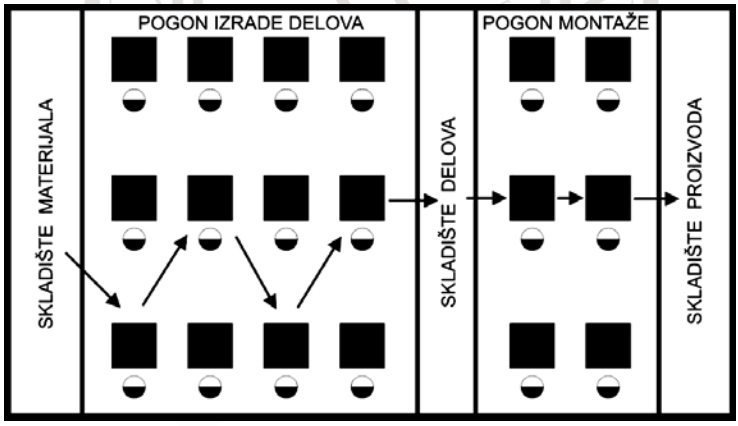
Slika 1.18. *Povezivanja CAD i NC funkcija*

Interfejs treba da omogući izmenu :

- grafičkih podataka, koji obuhvataju 2D/3D vektorsku grafiku i 2D/3D raster grafiku,
- podataka sa tehničkog crteža, koji obuhvataju 2D geometriju, razmeru i kote, poglede i preseke, organizacione podatke,
- geometrijskih podataka i to za 2D/3D linijske modele, 3D površinske modele i/ili zapreminske modele,
- podataka o modelu proizvoda,tj. podataka o strukturi proizvoda, geometriji proizvoda, tehnologiji i elementima oblika.

1.5. Definisanje fabričkih raasporeda

Uz organizacionu strukturu, proizvodna organizacija mora se takođe baviti i njenim fizičkim objektima. Termin fubrički respored d (engl. plant layout) se odnosi na logičko i fizičko uređenje svih objekata u proizvodnoj fabrici. Logički (konceptualni) projekat uključuje uglavnom logiku toka materijala. Fizički (realizacioni) projekat sadrži topologiju i konfiguraciju proizvodnih mašina i sredstava unutrašnjeg transporta i skladištenja. To odvajanje je neophodno, naročito u projektovanju i u toku reprojektovanja automatizovanih proizvodnih sistema.



Slika 1.19. *Izgled proizvodnog pogona preduzeća*

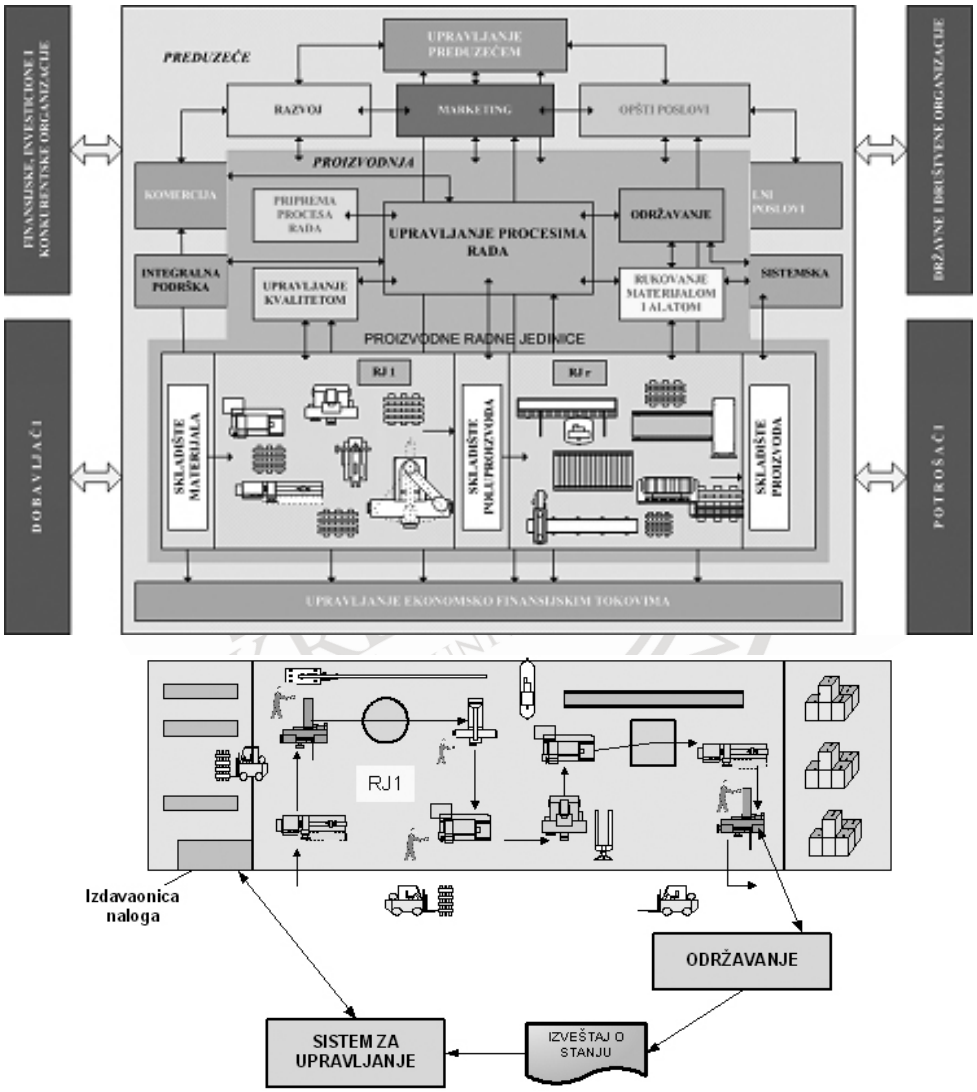
1.5.1. Tipovi fabričkog rasporeda

Raspored koji pristaje protočnom tipu velikoserijske i masovne proizvodnje nije pogodan za pojedinačnu i maloserijsku proizvodnju i obrnuto. Razlikujemo tri glavna tipa fabričkog rasporeda koji asociraju na tradicionalne proizvodne radionice:

- fiksni/pozicioni raspored,
- procesni raspored, i

- predmetni/protočni raspored.

Danas postoji znatna korelacija između tipova fabričkog rasporeda i tipova proizvodnje prethodno klasifikovanih prema količini.



Slika 1.20. *Procesni fabrički raspored*

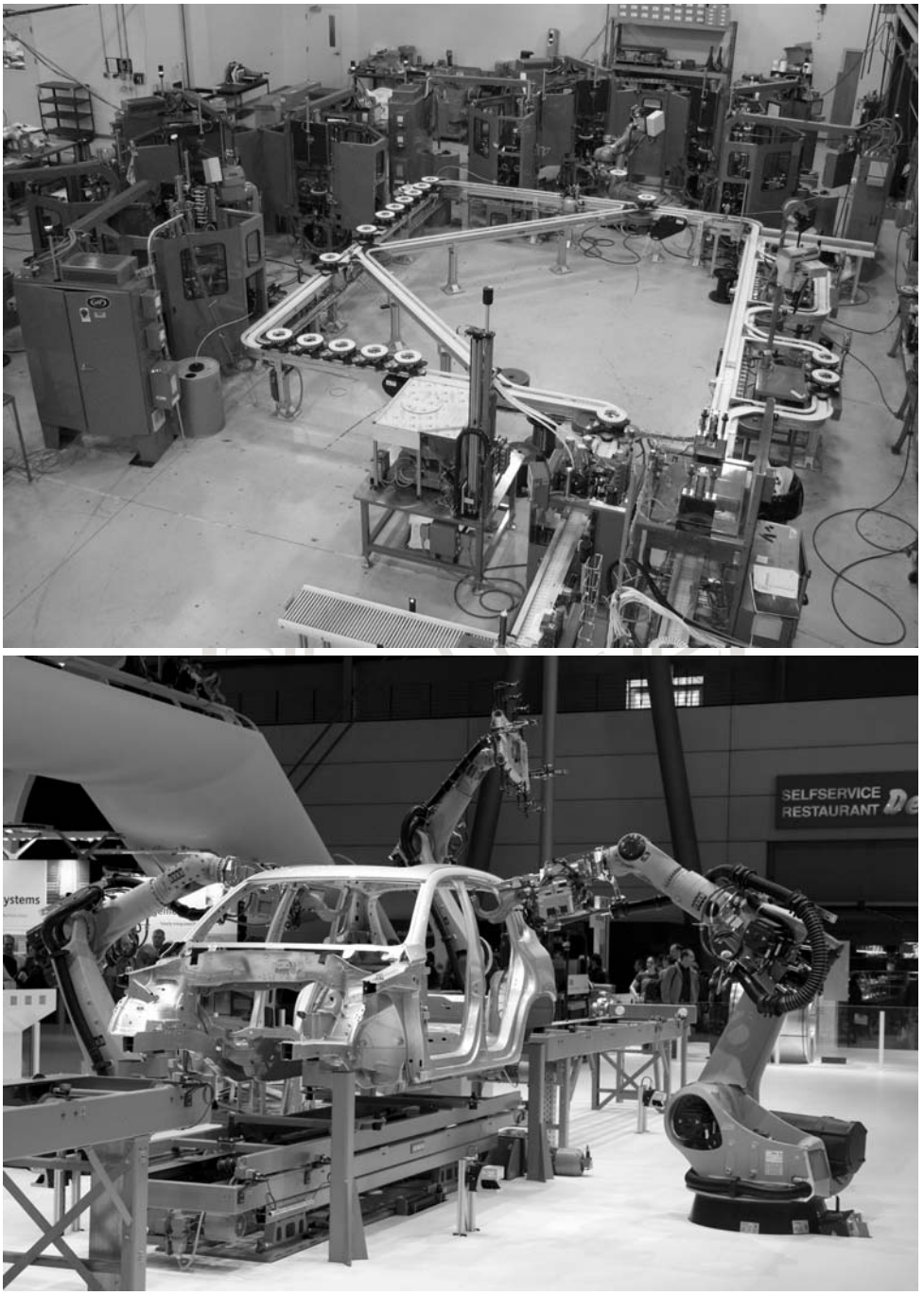
Fiksni/pozicioni raspored. U ovom tipu rasporeda, termin "fiksna-pozicija" odnosi se na proizvod. Zbog njegove veličine i težine, proizvod ostaje na jednoj lokaciji, a oprema koja se koristi u njegovoj fabrikaciji donosi se na lokaciju. Montaža velikog aviona i brodogradnja primer su operacija u kojima se upotrebljava fiksni/pozicioni raspored.

Projektni raspored se koristi za građevinske objekte kao što su zgrade, mostovi i brane. Kao i u fiksnom/pozicionom rasporedu, proizvod je veliki i građevinska oprema i radnici moraju da se kreću do proizvoda. Suprotno fiksnom/pozicionom uredenju, kada se posao završi, oprema se seli sa mesta izgradnje. Za fiksni pozicioni raspored, proizvod se seli van fabrike, a fabrika se namenski koristi za sledeći posao. Ovaj tip uredenja često se povezuje sa pojedinačnom i maloserijskom proizvodnjom u kojoj se fabrikuju kompleksni proizvodi u vrlo malim količinama.

Procesni/predmetni raspored. U procesnom rasporedu, proizvodne mašine su uređene u grupe prema opštem tipu proizvodnog procesa. Strugovi su u jednom odeljenju, glodalice u drugom, bušilice u sledećem odeljenju i tako dalje. Prednost ovog tipa rasporeda je njegova fleksibilnost. Slika 1.20 ilustruje predmetni/protočni raspored.

Različiti delovi, pri čemu svaki traži svoj sopstveni redosled operacija, mogu da se kreću kroz odeljenja u odgovarajućem redosledu. Viljuškari i ručna kolica upotrebljavaju se za pomeranje materijala od jednog radnog centra do sledećeg. Montažni objekti se smeštaju duž linije toka proizvoda. Delovi u obradi se kreću pomoću konvejera ili sličnih sredstava od jednog radnog mesta do sledećeg. Proizvod se progresivno fabrikuje dok protiče kroz redosled radnih mesta. Ovaj tip rasporeda je podesan za protočni tip velikoserijske i masovne proizvodnje. Uređenje objekata unutar fabrike je relativno nefleksibilno i jedino je umešno kada su količine proizvodnje dovoljno velike da opravdaju investicije.

Ova tri rasporeda (fiksni/pozicioni, procesni i protočni/predmetni) uobičajeni su tipovi koji se nalaze u današnjim proizvodnim fabrikama. **Četvrti tip, nazvan grupno tehnološki raspored**, predstavlja pokušaj kombinovanja efikasnosti protočnog rasporeda sa fleksibilnošću procesnog rasporeda.

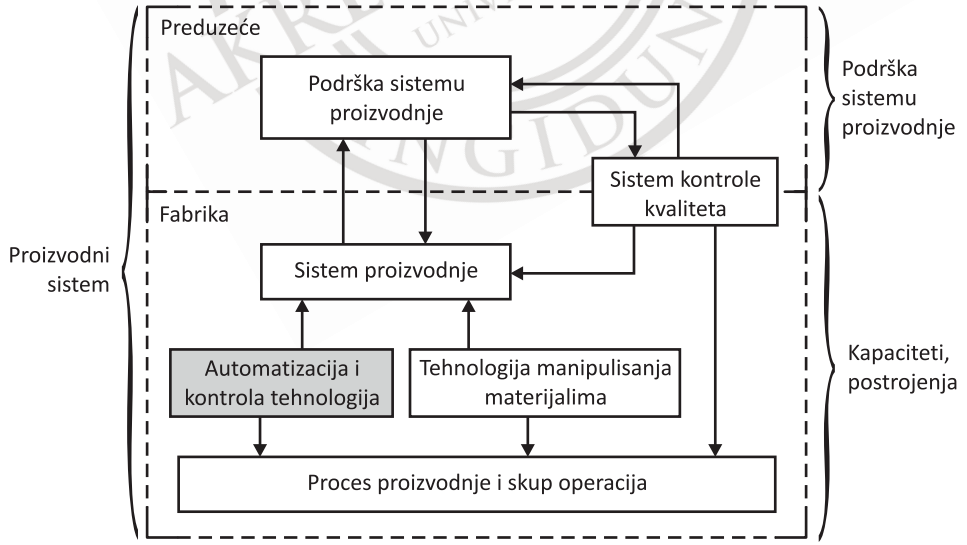


Slika 1.21. *Proizvodni automatizovani procesi*

Glava 2

Ukratko o automatizaciji

Automatizacija se može definisati kao tehnologija kojom su postignuti proces ili proceduru bez ljudske pomoći. Implementirana je pomoću programa sa uputstvima u kombinaciji sa sistemom kontrole koji izvršava instrukcije. Da bi se automatizovao proces, potrebna je snaga (pogon), i to da pokreće sâm proces i da omogućava rad programa i sistema kontrole. Iako automatizacija može da se primeni u širokom spektru oblasti, najbliže je povezana sa industrijom. Bilo je to u kontekstu proizvodnje koju je prvobitno definisao tehnički direktor kompanije "Ford Motor" u 1946. godini, kako bi opisao razne automatske prenose uređaja i potrebnih mehanizama, koji su instalirani u Fordovim proizvodnim pogonima. Ironično je da se, skoro sva, moderna primena automatizacije kontroliše pomoću računarskih tehnologija koje nisu bile na raspolaganju u 1946. godini.



Slika 2.1. *Elementi automatizovanog sistema*

U ovom delu knjige, pomenute su tehnologije koje su razvijene za automatizaciju proizvodnih operacija. Položaj automatizacije i kontrole tehnologija u većem proizvodnom sistema

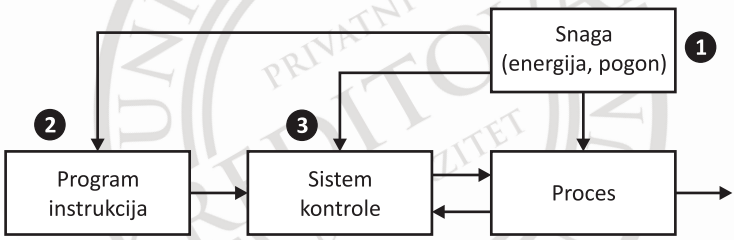
je prikazan na slici 2.1. Takođe, obezbeđeni su i odgovarajući pogledi na samu automatizaciju i odgovarajuće elemente:

- Koji su elementi automatizovanog sistema?
- Koje se napredne funkcije "pojavljuju" izvan osnovnih elemenata?
- Na kojim nivoima preduzeća može da se primeni automatizacija?

2.1. Osnovni elementi automatizovanog sistema

Automatizovani sistem se sastoji od tri osnovna elementa:

1. energija (snaga) da omogući (ostvari) proces i rad sistema,
2. program instrukcija da usmeri proces, i
3. sistem kontrole čiji je zadatak da podstakne uputstva.



Slika 2.2. *Automatizacija i kontrola tehnologija unutar proizvodnog sistema*

Odnos između ovih elemenata je ilustrovan na slici 2.2. Svi sistemi, koji se kvalifikuju kao automatizovani, uključuju ova tri osnovna elementa u jednom ili drugom obliku.

2.1.1. Potrebna energija za ostvarenje automatizovanog procesa

Ako se koristi automatizovani sistem kako bi neki proces funkcionisao, onda je neophodna pogonska snaga za pokretanje procesa, kao i kontrolu. Glavni izvor snage (pogona) u automatizovanim sistemima je električna energija (struja). Električna energija ima mnoge prednosti u automatizovanim, kao i u neautomatizovanim procesima:

- Električna energija je široko dostupna po umerenoj ceni. To je važan deo industrijske infrastrukture.
- Električna energija može lako da se konvertuje (pretvori) u alternativne oblike energije – mehaničku, termičku, svetlosnu, akustičnu, hidrauličnu i pneumatsku.
- Električna energija može da se koristi na niskom nivou kako bi se ostvarile funkcije kao što su prenos signala, obrada i čuvanje podataka i komunikacije.

- Električna energija može biti uskladištena u dugotrajne baterije za korišćenje na mestima gde spoljašnji izvor električne energije nije prigodno dostupan.

Alternativni izvori energije uključuju fosilna goriva, solarnu energiju, vodu i vetar. Međutim, njihova upotreba je izuzetno retka u automatizovanim sistemima. U mnogim slučajevima kada se alternativni izvori energije koriste za pokretanje samog procesa, električna energija se koristi za elemente kontrole (upravljačke elemente) koje automatizuju operacije. Na primer, pri procesu livenja i termičkoj obradi, peći mogu da se zagrevaju fosilnim gorivima, ali upravljački sistem za regulisanje temperature i vremena ciklusa je električni. U drugim slučajevima, energija iz ovih alternativnih izvora se pretvara u električnu energiju za pokretanje procesa i njegovu automatizaciju. Kada se solarna energija koristi kao izvor napajanja za automatizovani sistem, onda se obično pretvara na ovaj način.

Potrebna energija za proces. U proizvodnji, termin proces se odnosi na proizvodnu operaciju koja se izvodi na radnoj jedinici. Pored pokretanja proizvodne operacije, energija je potrebna i za sledeće funkcije po pitanju rukovanja materijalom:

- Utovar i istovar radnih delova. Pojedinačni procesi se, uglavnom, odnose na pojedinačne delove. Ovi delovi, ako učestvuju u kreiranju sklopova, moraju biti premešteni u odgovarajući položaj i da budu odgovarajuće orijentacije, kako bi proces bio izvršen, a energija je potrebna za ovaj transport i za funkcije plasmana. Na kraju procesa, radne jedinice (delovi) moraju, isto tako, biti uklonjene. Ako je proces potpuno automatizovan, onda se koristi neka forma (oblik) mehaničke energije. Ako se proces radi ručno ili poluautomatizovano, tada ljudska snaga može da se koristi za pozicioniranje i pronalaženje radnih jedinica (delova).

- Prevoz (transport) materijala između operacija. Pored utovara i istovara unutar definisane operacije, radne jedinice (delovi) treba premeštati između operacija.

Potrebna energija za automatizaciju. Iznad i izvan osnovnih uslova za napajanje postupka izrade, dodatno napajanje je potrebno za automatizaciju. Dodatna energija koristi se za sledeće funkcije:

- Upravljanje jedinicom. Savremeni industrijski kontroleri su zasnovani na digitalnim računarima, koji zahtevaju električnu energiju da učitaju programske instrukcije, da naprave kontrolne proračune i izvrše instrukcije koje su posledica primene odgovarajuće komande za pobuđivanje uređaja.

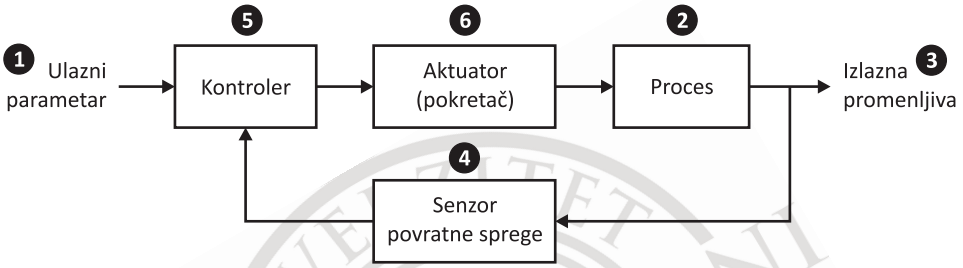
- Energija za aktiviranje signala kontrole. Komande, koje je poslao kontroler jedinica, obavljaju se pomoću elektromehaničkih uređaja, kao što su prekidači i motori, koji se zovu `aktuatori`. Komande se, uglavnom, prenose putem kontrolnih signala niskog napona. Da bi se to postiglo, komande aktuatora zahtevaju više energije, i tako kontrolni signal mora da bude pojačan kako bi obezbedio odgovarajući nivo energije za pobuđivanje uređaja.

- Prikupljanje i obrada informacija. U većini sistema za upravljanje, podaci moraju biti prikupljeni iz procesa i koriste se kao ulaz za upravljačke algoritme. Pored toga, zahtevi procesa mogu da sadrže vođenje evidencije o procesu rada ili kvalitetu

proizvoda. Ova akvizicija podataka i funkcije vođenja evidencije zahtevaju energiju (snagu), iako u skromnim količinama.

2.1.2. Sistemi kontrole

Upravljački element (element kontrole) automatizovanog sistema izvršava program uputstava. Sistem kontrole omogućava procesu da ostvari svoje definisane funkcije, da izvrši neku operaciju za proizvodnju. U ovom delu biće dat kratak uvod u sisteme kontrole



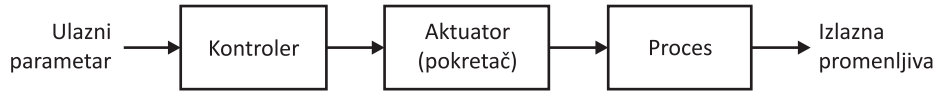
Slika 2.3. *Sistem kontrole sa povratnom spregom*

Kontrole u automatizovanom sistemu mogu biti zatvorene petlje ili otvorene petlje. Kontrolni sistem sa zatvorenom petljom, poznat je i kao sistem sa povratnom spregom, u kojem se izlazna upoređuje sa ulaznim parametrom, i bilo koja razlika izmedu ove dve vrednosti koristi se korekciju ulaza na osnovu izlaza. Kao što je prikazano na slici 2.3, sistem kontrole sa zatvorenom petljom se sastoji od šest osnovnih elemenata:

1. ulazni parametar,
2. proces,
3. izlazna promenljiva,
4. senzor povratne sprege,
5. kontroler i
6. aktuator (pokretač).

Ulazni parametar, često se naziva i podešena tačka, predstavlja željenu vrednost izlaza. U sistem za kontrolu kućne temperature, podešena tačka je željeno podešavanje termostata. Proces je kontrolisana operacija ili funkcija. Konkretno, to je izlazna promenljiva koja se kontroliše u petlji. U ovoj diskusiji, proces na koji se obraća pažnja je obično proizvodna operacija, kao i izlazna promenljiva koja predstavlja neki varijabilni proces, možda kritične mere u procesu, kao što su temperatura ili primena sile ili protok. Senzor se koristi za merenje izlaznih promenljivih i za zatvaranje petlje između ulaza i izlaza. Senzori obezbeđuju funkciju povratne informacije u zatvorenom sistemu za kontrolu petlje. Kontroler poredi izlaz sa ulazom i čini potrebna prilagođavanja u procesu da se smanji razlika između njih. Podešavanje se vrši pomoću jednog ili više aktuatora (pokretača), koji su hardverski uređaji koji obavljaju fizičku kontrolu radnji, kao što su električni motori ili ventili za

regulisanje protoka. Treba napomenuti da model na slici 2.3 pokazuje samo jednu petlju. Većina industrijskih procesa zahteva više petlji, po jednu za svaku promenljivu procesa koja se mora kontrolisati.

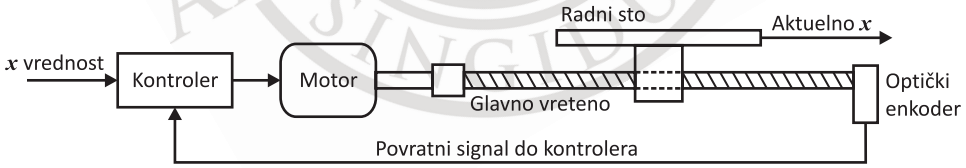


Slika 2.4. *Sistem kontrole sa otvorenom petljom (bez povratne sprege)*

Za razliku od zatvorenog sistema za kontrolu petlje, psistem kontrole sa otvorenom petljom radi bez povratne sprege, kao na slici 2.4. U ovom slučaju, kontrole rade bez merenja izlazne promenljive, tako da nema poređenja između stvarne izlazne vrednosti i željenog ulaznog parametra. Kontroler se oslanja na tačne modele dejstva njegovih aktuatora na promenljive procesa. Uz sistem sa otvorenom petljom uvek postoji rizik da aktuator neće biti dovoljno efikasana po pitanju procesa, a to je nedostatak otvorene petlje. Njegova prednost je da je generalno jednostavniji i jeftiniji od sistema sa zatvorenom petljom. Sistemi sa otvorenom petljom (bez povratne sprege) su obično prikladno kada su sledeći uslovi u opticaju:

- akcije koje sistem kontroliše su jednostavne,
- funkcije pobuđivanja su veoma pouzdane, i
- bilo kakve reaktivne sile u odnosu na aktuator su dovoljno male, tako da nemaju nikakav uticaj na aktuator.

Ako ove karakteristike ne važe, onda sistem kontrole sa zatvorenom petljom može biti više odgovarajući.



Slika 2.5. *Jednoosni sistem pozicioniranja koji se sastoji od galvnog vretena koje pokreće motor na jednosmernu struju*

Slika 2.5 može da pomogne da se uoči razlika između sistema sa zatvorenom i otvorenom petljom po pitanju pozicioniranja radnog stola. Sistemi za pozicioniranje su uobičajeni u proizvodnji kako bi se locirao radni deo u odnosu na alat ili ostale elemente. Slika 2.5 pokazuje slučaj sistema pozicioniranja sa zatvorenom petljom. U radu, sistem je usmeren da premesti radni sto na navedenu lokaciju, koja je definisana vrednostima koordinata u Dekartovom koordinatnom sistemu. Većina sistema za pozicioniranje ima najmanje dve ose (na primer, $x - y$ pozicioniranje radnog dela) sa sistemom kontrole za svaku osu, ali skica na slici 2.5 ilustruje samo jednu od tih osa. Jednosmerni servomotor je povezan sa glavnim vretenom, kao zajednički aktuator za svaku osu. Signal, označen vrednošću koordinate (na primer, x vrednost), je poslat iz kontrolera da motora koji pokreće glavno

vreteno, čije se rotaciono kretanje pretvara u linearno pozicioniranje radnog stola. Kako se radni sto približava željenoj x vrednosti koordinate, razlika između stvarne x pozicije i ulazne x vrednosti je smanjena. Aktuelna x pozicija se meri senzorom povratne sprege (na primer, optički enkoder). Kontroler nastavlja da pogoni motor sve dok stvarni položaj radnog stola ne odgovara vrednosti ulaznepozicije.

Za slučaj otvorene petlje, skica sistema za pozicioniranje će biti slična prethodnoj, osim što nema prisutnu povratnu spregu i koristi se koračni motor umesto jednosmernog servomotora. Koračni motor je dizajniran tako da rotira vreteno u preciznim koracima za svaki impuls dobijen od kontrolera. Sve dok je vratilo motora povezano sa glavnim vretenom i dok glavno vreteno translira radni sto, svaki impuls se pretvara u malo stalno linearno kretanje stola. Da bi se premestio radni sto na željenu udaljenost, broj impulsa odgovara rastojanju koje se šalje motoru. Ako se uzme u obzir pravilna primena i ako su karakteristike usaglašene sa spiskom operativnih poslova, sistem za pozicioniranje sa otvorenom petljom radi sa visokom pouzdanošću.

2.2. Nivoi automatizacije

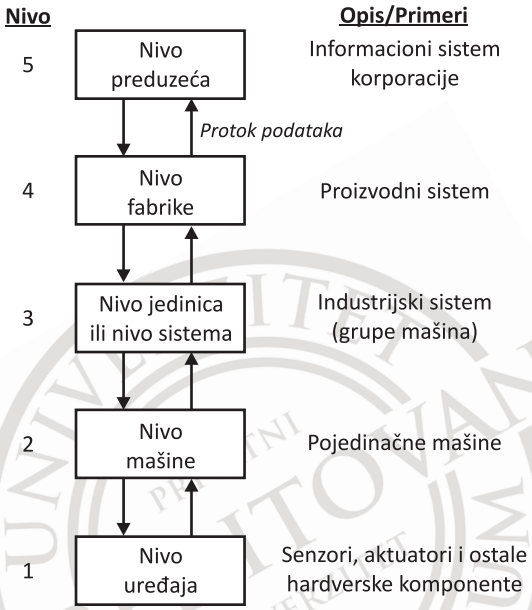
Koncept automatizovanih sistema može se primeniti na različitim nivoima operacija unutar fabrike. Normalno je da se u automatizaciju sa pojedinačnim proizvodnim mašinama. Međutim, sama proizvodna mašina se sastoji od podsistema koji mogu i sami biti automatizovani. Savremena numerički kontrolisana (NC) mašina alatka je automatizovani sistem. Međutim, sama NC mašina sama se sastoji od više sistema kontrole. Svaka NC mašina ima najmanje dve ose kretanja, a neke mašine imaju do pet osa. Slično tome, NC mašina je često deo većeg proizvodnog sistema i većih sistema koji mogu sami po sebi biti automatizovani. Na primer, dve ili tri alatne mašine mogu biti povezane sa automatizovanim delom operativnog sistema za rukovanje pod kontrolom računara. Alatne mašine, takođe, mogu dobiti i uputstva (na primer, deo programa) iz računara. Tako se došlo do tri nivoa automatizacije i kontrole koje su ovde uključene (nivo pozicioniranja sistema, nov mašine alatke, kao i nivo proizvodnog sistema). Za potrebe u ovom delu knjige, može se identifikovati pet mogućih nivoa automatizacije u proizvodnom pogonu. Definisani su u nastavku, a njihova hijerarhija je prikazana na slici 2.6.

1. Nivo uređaja. Reč je o najnižem nivou u hijerarhiji automatizacije i u njega su uključeni aktuatori, senzori i ostale hardverske komponente koje čine nivo mašine. Uređaji su kombinovani u pojedinačne kontrole sa zatvorenom petljom (na primer, informacija povratne sprege jednoosne CNC mašine ili zajednički zglob na industrijskim robotima).

2. Nivo mašina. Hardver na nivou uređaja je sastavljen u pojedinačne mašine. Primeri uključuju CNC mašine alatke i sličnu proizvodnu opremu, industrijske robote, električne trake za transport i automatski vođena vozila. Kontrolna funkcija na pomenutom nivou obuhvata obavljanje koraka, koji su definisani u programu uputstva, po ispravnom redosledu i omogućava korisniku da se uveri da li je svaki korak pravilno izvršen.

3. Nivo jedinica ili na nivou sistema. To je proizvodna ćelija (jedinica) ili nivo sistema, koji deluje po instrukcijama nivoa fabrike. Proizvodna jedinica ili sistem je grupa od mašina ili radnih stanica povezanih i podržanih od strane sistema za rukovanje ma-

terijalom, računara i ostale opreme odgovarajućeg proizvodnog procesa. Proizvodne linije su uključene u ovaj nivo. Funkcije uključuju slanje i montiranje delova na mašine, koordinaciju između mašina i sistema za rukovanje materijalom, kao i prikupljanje i procenu podataka.



Slika 2.6. *Pet nivoa automatizacije i kontrole u proizvodnom sistemu*

4. Nivo fabrike. Ovde je reč o nivou fabrike ili proizvodnog sistema koji prima instrukcije od korporativnog informacionog sistema i prevodi ih u operativne planove za proizvodnju. Funkcije uključuju proces obrade, proces planiranja, kontrole zaliha, planirane nabavke materijala, kontrolu pojedinačnih pogona i kontrolu kvaliteta.

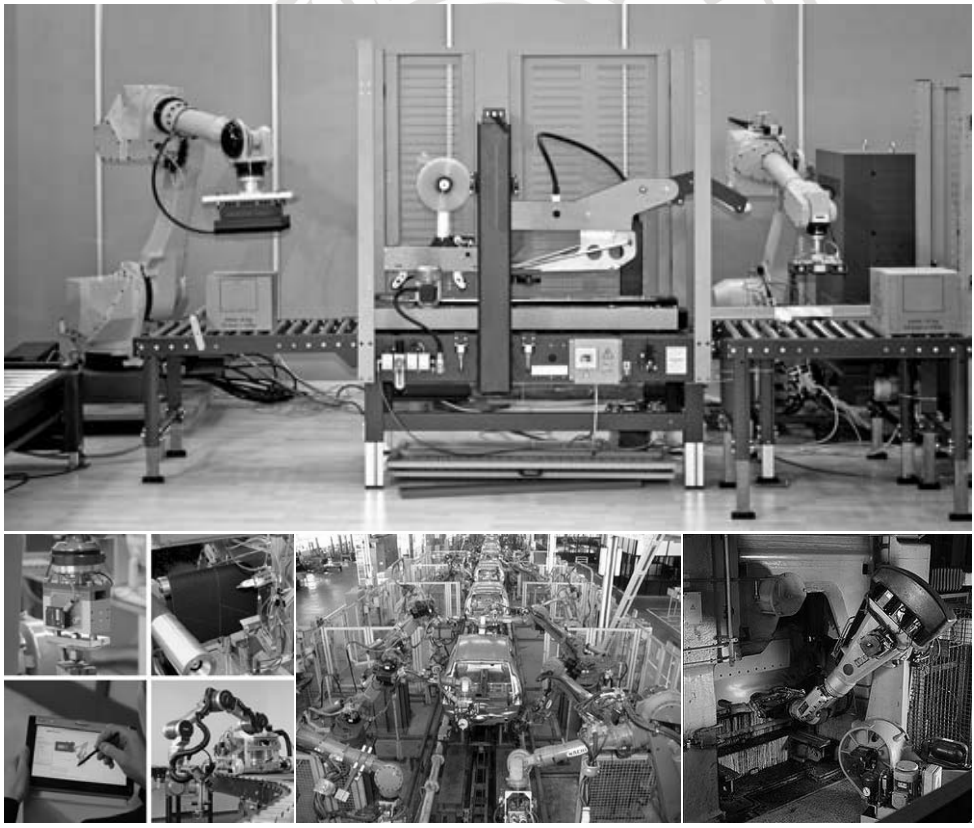
5. Nivo preduzeća. To je najviši nivo, koji se sastoji od korporativnog informacionog sistema i koji se bavi svim funkcijama koje su neophodne za upravljanje kompanijom, kao što su: marketing i prodaja, računovodstvo, dizajn, istraživanje, glavni proizvodni plan i agregatno planiranje.

Većina tehnologija koje se pominju u ovoj knjizi su na nivou 2 (nivo mašina), iako je bilo priče o nivou 1 automatizacije tehnologije (uređaji koji čine sistem kontrole). Tehnologije drugog nivoa obuhvataju pojedinačne kontrolere (na primer, programabilni logički kontroleri i kontroleri digitalnih računara), numerički kontrolisane mašine i industrijske robote. Oprema koja se bavi "nabavkom" i distribucijom materijala oprema, takođe, predstavlja tehnologiju na nivou 2, iako neka oprema i sama predstavlja sofisticirane automatizovane sisteme. Automatizacija i kontrola na nivou 2 vode računa o osnovnim operacijama opreme i fizičkim procesima koje obavljaju.

Kontroleri, mašine, materijali i oprema su objedinjeni u proizvodnu ćeliju, proizvodne linije ili slične sisteme, koji čine treći nivo. Proizvodni sistem je definisan u ovoj knjizi kao skup

integrisanih oprema dizajniranih za neke specijalne misije, kao što su mašinsko definisanje porodice delova ili sklapanje određenih proizvoda. Proizvodni sistemi, takođe, uključuju ljude. Određeni visoko automatizovani proizvodni sistemi mogu da rade duže vreme, bez ljudi, gde bi trebalo voditi računa o njihovim potrebama. Međutim, većina proizvodnih sistema uključuje radnike kao važne i bitne elemente sistema. Dakle, proizvodni sistemi su dizajnirani sa različitim stepenom automatizacije, neki su visoko automatizovani, drugi su potpuno automatski, a postoji i širok spektar između ove dve kategorije.

Proizvodni sistemi u fabrici su komponente većeg sistema, sistema proizvodnje. Sistem proizvodnje su definisani kao ljudi, oprema i procedure koje se organizuju kroz kombinacije materijala i procesa koji čine proizvodne operacije kompanije. Proizvodni sistemi su na četvrtom nivou, nivou fabrika, dok su grupe mašina za izradu na trećem nivou u hijerarhiji automatizacije. Proizvodni sistemi su ne samo grupe mašina i radnih stanica u fabrici, nego i podrška procedurama koje će ih "naterati" da rade. Ove procedure uključuju upravljanje proizvodnjom, kontrolu zaliha, nabavku planiranih materijala, kontrolu pojedinačnih pogona i kontrolu kvaliteta.



Slika 2.7. *Proizvoljni nivoi automatizacije i kontrole u proizvodnim sistemima*

Glava 3

Industrijski sistemi kontrole

Sistem kontrole je jedna od tri osnovne komponente automatizovanog sistema. U ovom poglavlju obratiće se pažnja na industrijske sisteme kontrole, a posebno kako se koriste digitalni računari za sprovođenje funkcija kontrole u proizvodnji. Industrijska kontrola je ovde definisana kao automatska regulacija operacija i prateće opreme, kao i integracija i koordinacija operacija u većem proizvodnom sistemu. U kontekstu ove knjige, termin operacija obično se odnosi na proizvodne operacije, međutim, termin se takođe odnosi na rukovanje materijalom i na rad sa drugom industrijskom opremom.

3.1. Odnos kontinualne i diskretne kontrole

Industrijski sistemi kontrole koji se koriste u procesnoj industriji imaju tendenciju da naglase kontrolu kontinualnih promenljivih i parametara. Nasuprot tome, proizvodna industrija izrađuje diskretne delove i proizvode, a njihovi kontroleri imaju tendenciju da naglase diskretne promenljive i parametre. Kao što postoje dva osnovna tipa promenljivih i parametara koji karakterišu proizvodne operacije, tako postoje i dva osnovna tipa kontrole:

- kontinualna kontrola, u kojoj su promenljive i parametri kontinualni i analogni, i
- diskretna kontrola, u kojoj su promenljive i parametri diskretni, uglavnom binarno diskretni.

Neke od razlika između kontinualne i diskretne kontrole su u tabeli 3.1.

U stvarnosti, većina operacija u procesu proizvodnje i diskretnoj industriji delova obuhvata i kontinualne i diskretne promenljive i parametre. Shodno tome, mnogi industrijski kontroleri su dizajnirani sa mogućnošću da primaju, prenose i rade sa obe vrste podataka i signala.

Da bi se dodatno zakomplikovale stvari, počela je zamena analognih kontrolera digitalnim računarima u kontinualnom procesu kontrole oko 1960. godine, i dovela je do toga da se promenljive kontinualnog procesa više ne mere kontinualno (neprekidno). Umesto toga, oni su povremeno uzorkuju, u suštini stvara se diskretni sistem uzorkovanih podataka, koji je približan stvarnom kontinualnom sistemu. Slično tome, kontrolni signali koji se šalju

procesu su obično "stepenaste" funkcije, koje aproksimiraju prethodne signale kontinualne kontrole prenete od strane analognih kontrolera. Dakle, u digitalnom računarskom procesu kontrole, čak i kontinualne promenljive i parametri poseduju karakteristike diskretnih podataka, a ove karakteristike treba uzeti u obzir prilikom dizajna računarskog interfejsa procesa i upravljačkih algoritama koje koristi kontroler.

Tabela 3.1. *Upoređenje kontinualne i diskretne kontrole*

Faktor poređenja	Kontinualna kontrola u procesnoj industriji	Diskretna kontrola u diskretnoj proizvodnoj industriji
Tipično merenje izlaznih proizvoda	Merenje mase, zapremine tečnosti, zapremine solida (krutih tela)	Broj delova, broj proizvoda
Tipično merenje kvaliteta	Doslednost, koncentracija rastvora, odsustvo zagađivača, usaglašenost sa specifikacijama	Dimenzije, površinska obrada, odsustvo nedostataka, pouzdanost proizvoda
Tipične promenljive i parametri	Temperatura, zapreminski protok, pritisak	Položaj, brzina, ubrzanje, sila
Tipični senzori	Merači protoka, termoparovi, senzori pritiska	Granični prekidači, fotoelektrični senzori, piezoelektrični senzori
Tipični aktuatori	Ventili, grejači, pumpe	Prekidači, motori, klipovi
Tipične vremenske konstante procesa	Sekunde, minute, sati	Manje od 1 sekunde

3.1.1. Kontinualni kontrolni sistemi

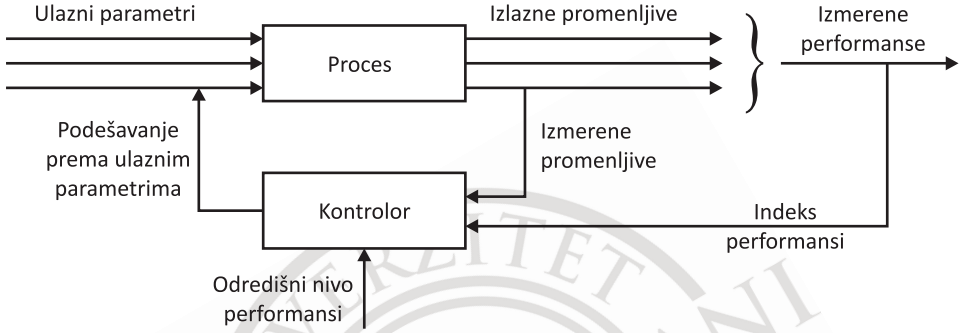
Prilikom kontinualne kontrole, uobičajeni cilj je da se održi vrednost izlazne promenljive na željenom nivou, slično radu sistema povratne sprege kao što je definisano u prethodnom poglavlju. Međutim, većina kontinualnih procesa u praktičnom svetu se sastoji od mnogo posebnih povratnih sprega, koje moraju biti kontrolisane i koordinisane da bi se održala željena vrednost izlazne promenljive. Primeri kontinualnih procesa su sledeći:

- Kontrola izlaza hemijske reakcije koja zavisi od temperature, pritiska, protoka i stope unos nekoliko reagenasa. Sve ove promenljive i/ili parametri su kontinualni.
- Kontrola relativnog položaja radnog dela u odnosu na rezni alat u operaciji glodanja u kojoj se generiše kompleksna zaobljena površina. Položaj dela je definisan x, y i z vrednostima koordinata. Kako se deo pomera, x, y i z vrednosti mogu da se smatraju kontinualnim promenljivama i/ili parametrima koji se menjaju tokom vremena.

Postoji nekoliko načina za postizanje kontrolnog cilja u kontinualnom sistemu procesa kontrole. U sledećim paragrafima, istražene su najznačajnije kategorije.

Regulatorna kontrola. U regulatornoj kontroli, cilj je da se održe performanse procesa na određenom nivou ili u okviru date tolerancije tog nivoa. To je prikladno, na primer,

kada atribut performansi predstavlja neku meru kvaliteta proizvoda, i važno je da kvalitet ostane na određenom nivou ili u okviru određenog opsega. U mnogim aplikacijama, merenje performansi procesa, ponekad se naziva indeks performansi, mora se odrediti na osnovu nekoliko promenljivih izlaza procesa. Osim ove funkcije, regulatorna kontrola ima ulogu za celokupni proces povratne petlje kod kontrole sa povratnom spregom, kao što je prikazano na slici 3.1.



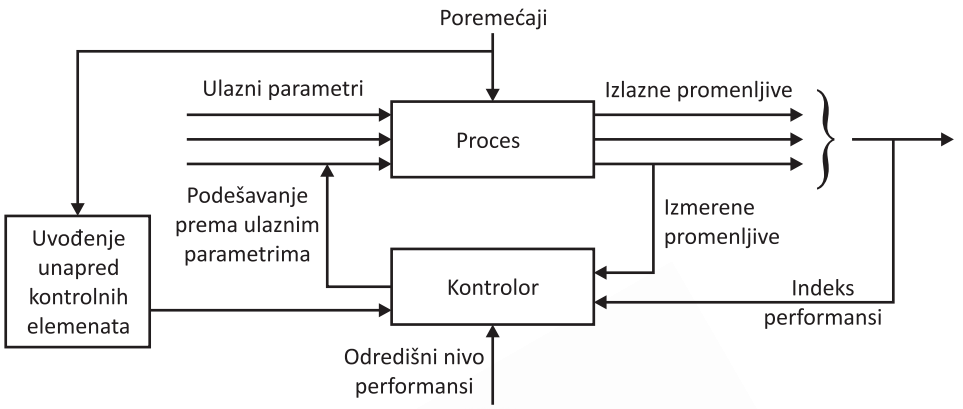
Slika 3.1. *Regulatorna kontrola*

Problem sa regulatornom kontrolom (kao i sa jednostavnom petljom povratne kontrole) je da se akcija kompenzacije uzima u obzor samo posle uticaja poremećaja na proces proizvodnje. Greška mora biti prisutna za bilo koju akciju koja će se aktivirati od strane kontrole. Prisustvo greške znači da se izlaz procesa razlikuje od željene vrednosti. Sledeći kontrolni režim, sa uvođenjem unapred kontrolnih elemenata, rešava ovaj problem.

Kontrola sa uvođenjem kontrolnih elemenata unapred. Strategija ove vrste kontrole je da predvidi uticaj smetnje koja će uznemiriti proces, njenim očitavanjem i kompenzovanjem pre nego što može da utiče na proces. Kao što se vidi na slici 3.2, unapred uvedeni kontrolni elementi "osećaju" prisustva poremećaja i preduzimaju se korektivne mere, tako što će se podesiti parametar procesa koji kompenzuje neki efekat poremećaja na sâm proces. U idealnom slučaju, kompenzacija je u potpunosti efikasna. Međutim, potpuna kompenzacija je nemoguća zbog nesavršenosti povratnog merenja, operacija aktuatora i algoritama kontrole, tako da se kontrola sa uvođenjem unapred kontrolnih elemenata obično kombinuje sa povratnom spregom, kao što je prikazano na slici 3.2. Regulatorna kontrola i kontrola sa uvođenjem kontrolnih elemenata unapred su više povezane sa procesnom industrijom, nego sa diskretnom proizvodnjom.

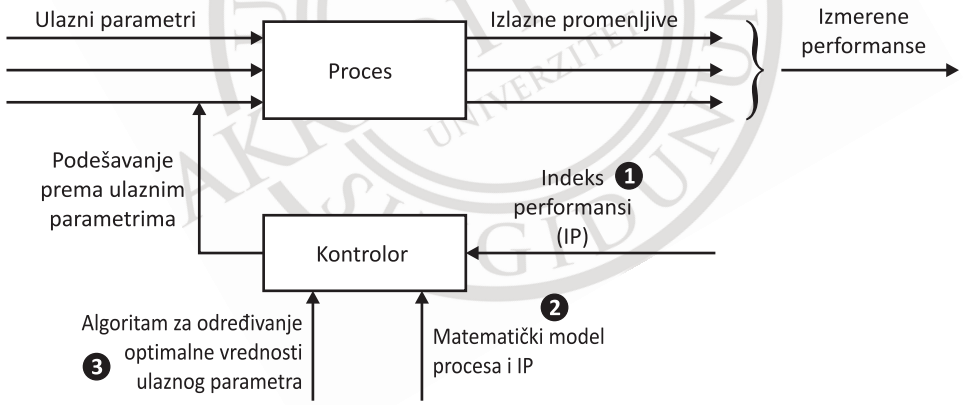
Optimizacija stacionarnog stanja. Ovaj termin se odnosi na klasu tehnika optimizacije u kojoj proces pokazuje sledeće karakteristike:

- postoji dobro definisan indeks performansi, kao što su cene proizvoda, opseg proizvodnje ili vođenje procesa,
- veza između varijabli procesa i indeksa performansi je poznat, i
- vrednosti parametara sistema koji mogu da optimizuju indeks performansi mogu se matematički odrediti.



Slika 3.2. *Kontrola sa uvođenjem kontrolnih elemenata unapred se kombinuje sa povratnom spregom*

Kada se ove karakteristike primene, kontrolni algoritam je dizajniran da se prilagođava paramterima procesa kako bi se proces odvijao u pravcu optimalnog sistema kontrole. To je otvorena petlja, kao što se vidi na slici 3.3. Nekoliko matematičkih tehnika su na raspolaganju za rešavanje problema ustaljene optimalne kontrole, uključujući i diferencijalni račun, račun varijacija, kao i razne metode matematičkog programiranja.



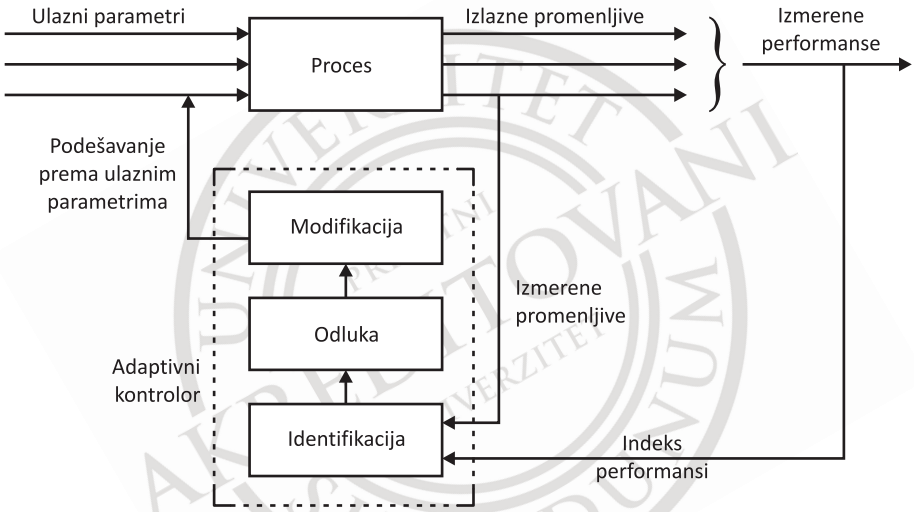
Slika 3.3. *Ustaljena optimalna kontrola sa otvorenom petljom*

Adaptivna kontrola. Stacionarno stanje optimalne kontrole funkcioniše kao otvoreni sistem petlje. On uspešno funkcioniše i kada ne postoje smetnje koje bi poništile poznati odnos između parametara procesa i procesa rada. Kada su takvi poremećaji prisutni u aplikaciji, samokorigujući oblik optimalne kontrole može se koristiti, pod nazivom adaptivna kontrola. Adaptivna kontrola kombinuje povratne informacije za kontrolu i optimalnu kontrolu merenja relevantnih varijabli procesa u toku rada (kao sa povratnom spregom) i pomoću algoritma kontrole koji pokušava da optimizuje neki indeks performanse (kao kod optimalne kontrole).

Adaptivna kontrola se razlikuje od kontrole sa unapred definisanim kontrolnim elemen-

tima i optimizacije stacionarnog stanja svojim jedinstvenim sposobnostima da se nosi sa vremenski promenljivim okruženjem. Nije neobično za sistem da radi u okruženju koje se menja tokom vremena i gde promene imaju određeni uticaj na performanse sistema. Ako su interni parametri i mehanizmi sistema fiksni, kao kod pomenutih kontrola, sistem može da ima drugačiji učinak u jednoj vrsti okruženja u odnosu na druga okruženja. Adaptivni sistem kontrole je dizajniran da nadoknadi eventualne promene u okruženju tako što prati svoje performanse i što menja neki aspekt svog kontrolnog mehanizma za postizanje optimalnih ili skoro optimalnih performansi. U procesu proizvodnje, okruženje koje se menja tokom vremena sastoji se od varijacija promenljivih procesa, sirovina, alata, atmosferskih uslova i slično, gde svaki od njih može da utiče na performanse.

Opšta konfiguracija adaptivnog sistema kontrole ilustrovana je na slici 3.4.



Slika 3.4. *Konfiguracija sistema adaptivne kontrole*

Da bi procenio sopstvenu uspešnost i da bi odgovorio u skladu sa tim, adaptivni sistem kontrole obavlja tri funkcije, kao što je prikazano na slici:

- Funkcija identifikacije. U ovoj funkciji, trenutnu vrednost indeksa performansi sistema se utvrđuje, na osnovu prikupljenih merenja iz procesa. Pošto se sredina menja tokom vremena, performanse sistema se takođe menjaju. Shodno tome, funkcija identifikacije mora biti postignuta manje ili više kontinualno tokom vremena u toku rada sistema.

- Funkcija odluke. Kada se jednom performanse sistema odrede, sledeća funkcija treba da odluči šta treba da se promeni da bi se poboljšale performanse. Funkcija odluke se sprovodi putem programiranog algoritma adaptivnog sistema. U zavisnosti od ovog algoritma, rešenje može da promeni jedan ili više ulaznih parametara procesa, da izmeni neke interne parametre kontrolera ili da odradi druge promene.

- Funkcija modifikovanja. Treća funkcija adaptivne kontrole je da primeni odluku. Dokle god je odluka logička funkcija, modifikacija se bavi fizičkim promenama u

sistemu. To uključuje najpre hardver, a posle softver. Tokom modifikacije, ulazni parametri sistema ili procesa se menjaju korišćenjem raspoloživih aktuatora koji "vode" sistem ka optimalnijem stanju.

Adaptivna kontrola se najčešće primenjuje na nivou 2 i 3 u hijerarhiji automatizacije. Adaptivna kontrola je bila predmet istraživanja i razvoja nekoliko decenija; to je prvobitno bilo motivisano problemima upravljanja brzih lovaca u doba mlaznih aviona. Principi se primenjuju u drugim oblastima, kao i u proizvodnji. Jedan od poznatih primera je adaptivno upravljanje rezanjem, u kome se promene varijabli procesa, kao što su sila sečenja, snaga i vibracije, koriste za efektivnu kontrolu nad parametrima procesa, kao što su brzina rezanja i korak pri rezanju.

Strategija *on-line* pretraživanja. Strategija *on-line* pretraživanja može da se koristi kao adresiranje na posebnu klasu problema adaptivne kontrole, gde funkcija odluke nije dovoljno definisana, to jest, odnos između ulaznih parametara i indeksa performansi nije poznat. Takođe, nije moguće da se odluči o promenama unutrašnjih parametara sistema u cilju proizvođenja željenih poboljšanja performansi. Umesto toga, eksperimenti moraju biti izvedeni na samom procesu. Male sistematske promene su napravljene kako bi se posmatrao efekat ulaznih parametara procesa na izlazne promenljive. Na osnovu rezultata ovih eksperimenata, moguće je napraviti veće promene ulaznih parametara kako bi se proces kretao u pravcu boljih performansi.

Strategije *on-line* pretraživanja obuhvataju različite šeme koje omogućavaju da se istraže efekti promene parametara procesa. Sve šeme pokušavaju da odrede koji ulazni parametri izazivaju najveći pozitivan efekat na indeks performansi, a zatim pokušavaju da preusmere proces u željenom pravcu. Veoma je malo dokaza da se tehnike *on-line* pretrage mnogo koriste u diskretnim proizvodnjama delova. Njihove primene su mnogo češće u kontinualnoj procesnoj industriji.

Ostale specijalizovane tehnike. Druge specijalizovane tehnike uključuju strategije koje se trenutno razvijaju u teoriji o kontroli i računarskim naukama. Primeri uključuju sisteme za učenje, ekspertne sisteme, neuronske mreže i druge metode veštačke inteligencije za kontrolu procesa.

3.1.2. Diskretni kontrolni sistemi

Pri diskretnoj kontroli parametri i varijable sistema se menjaju u diskretnim trenucima vremena. Promene uključuju promenljive i parametre koji se takođe diskretni, obično binarni (`ON/OFF`). Promene su definisane unapred pomoću programa instrukcija, na primer, program za radni ciklus. Promene su izvršene ili zbog stanja sistema koje se promenilo ili zbog toga što je određeno vreme isteklo. Ova dva slučaja mogu da se razlikuju kao (1) promene usled događaja ili (2) promene usled vremenskog sleda.

Promene usled događaja vrše se od strane kontrolora, kao odgovor na neki događaj koji je izazvalo neko stanje sistema i koje mora biti izmenjeno. Promene mogu da pokrenu operaciju ili da okončaju rad, da pokrenu motor ili da ga zaustave, da otvore ventil ili da ga zatvore itd. Primeri promena usled događaja su:

- Robot učitava radni deo u instalaciju, a deo se verifikuje od strane graničnog prekidača. Verifikovanje prisustva dela je događaj koji menja stanje sistema, i samim tim, promena vođena događajem je ta da automatski može da počne mašinski ciklus.
- Smanjenje nivoa plastike u kalupu izaziva prekidač niskog nivoa, koji zauzvrat otvara ventil za početak priliva nove plastike u kalup. Kada nivo plastike dostigne prekidač visokog nivoa, to izaziva zatvaranje ventila, tako da se na taj način vrši zaustavljanje ulivanja plastike u kalup.
- Brojanje delova, koji su kreću duž transportne trake, od strane optičkog senzora predstavlja sistem koji je "izazvan" događajem. Kada senzor verifikuje deo, pokreće se brojač.

Promene usled vremenskog sleda vrši kontrola ili u određenoj tački u vremenu, ili posle određenog vremenskog perioda. Kao i ranije, promena se obično sastoji od počinjanja nečega ili zaustavljanja nečega, a vreme kada dođe do promene je važno. Primeri promena usled vremenskog sleda su:

- U fabrikama sa specifičnim početkom i završetkom radnog vremena, kao i vremenom kada se vrši pauza u radu, podešeno je da se oglasi zvono u određenim vremenskim trenucima tokom dana da ukaže na početak i/ili završetak definisanog vremenskog perioda.
- Operacije termičke obrade moraju da se sprovedu tokom određenog vremena. Ciklus automatizovane termičke obrade se sastoji od automatskog unošenja delova u peć (možda robot), a zatim istovara, nakon što su delovi zagrejani za određeno vreme.
- U radu mašine za pranje veša, kada se bubanj napuni vešom do predviđenog nivoa, ciklus se nastavlja po vremenskom sledu koji je definisan programatorom. Kada ovo vreme istekne, tajmer prekida pranje i inicira ispuštanje vode.

Dve vrste promena odgovaraju dvema vrstama diskretne kontrole, koje se zovu kombinaciona logička kontrola i sekvencijalno upravljanje. Kombinaciona logička kontrola se koristi za kontrolu izvršenja promena usled događaja i sekvencijalna kontrola se koristi za upravljanje promenama usled vremenskog sleda.

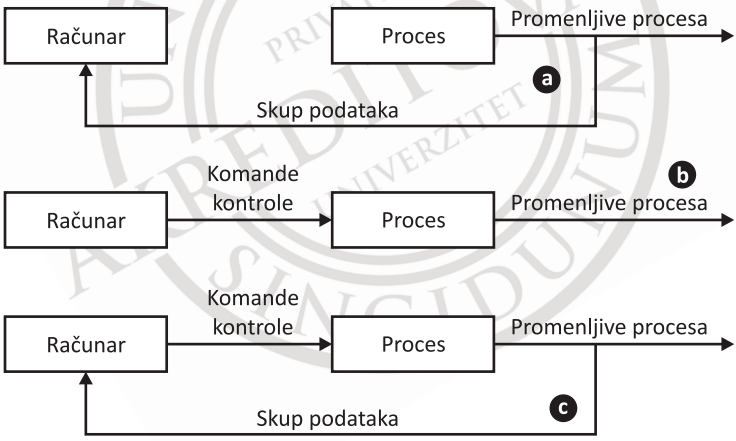
Diskretna kontrola je u širokoj upotrebi u diskretnoj proizvodnji, kao i u samoj procesnoj industriji. U diskretnoj proizvodnji, koristi se za kontrolu rada transportera i drugih sistema transporta materijala, automatizovanih sistema za skladištenje podataka, samostalne proizvodne mašine, automatskih linija za prenos, automatizovanih montažnih sistema i fleksibilnih proizvodnih sistema. Svi ovi sistemi funkcionišu tako što će se pratiti dobro definisan niz akcija start-i-stop, kao što su delovi transfera između radnih stanica i *on-line* automatizovane inspekcije.

U procesnoj industriji, diskretna kontrola je povezana više sa prekidnim procesima, nego sa kontinualnim procesima. U tipičnoj operaciji prekidnog procesiranja, svaki sastojak serije je izložen koracima ciklusa obrade koji uključuju promene u procesu parametara (na primer, promene temperature i pritiska), moguće protoke iz jednog kontejnera u drugi u toku ciklusa, i na kraju pakovanje. Korak pakovanja se razlikuje u zavisnosti od proizvoda.

Za hranu, može da podrazumeva pakovanje u konzerve ili kutije. Za hemikalije, to znači punjenje kontejnera sa tečnim proizvodom. Za farmaceutsku industriju, to može da podrazumeva punjenje boca medicinskim tabletama. U kontroli prekidnih procesa, cilj je da se upravlja i vremenskim redosledom koraka obrada, kao i da se regulišu parametri procesa u svakom koraku. Prema tome, kontrola prekidnih procesa obično sadrži i stalnu kontrolu, kao i diskretne kontrole.

3.1.3. Oblici kontrole procesa pomoću računara

Postoje razni načini na koji računari mogu da se koriste za kontrolu procesa. Prvo, može da se razlikuje proces praćenja i kontrola procesa, kao što je prikazano na slici 3.5. U procesu monitoringa, računar se koristi za prosto prikupljanje podataka iz procesa, dok u procesu kontrole, računar reguliše proces. U pojedinim implementacijama kontrole procesa, pojedine radnje sprovode se od strane kontrolnog računara koje ne zahtevaju povratnu informaciju da su podaci prikupljeni iz procesa. Ovo je kontrola sa otvorenom petljom. Međutim, u većini slučajeva, neki oblik povratne informacije je potrebno da se osigura, kako bi se uputstva za kontrolu propisno sprovela. U ovakvim situacijama je pogodnija primena kontrole sa zatvorenom petljom.



Slika 3.5. *Monitoring procesa (a), kontrola procesa sa otvorenom petljom (b), kontrola procesa sa zatvorenom petljom (c)*

U ovom odeljku, istraženi su različiti oblici računarskih monitoringa procesa i kontrola, osim jednog koji se najčešće koristi u industriji danas. Direktna digitalna kontrola (DDC) predstavlja prelaznu fazu u evoluciji tehnologije za kontrolisanje procesa pomoću računara. U svom izvornom obliku, ona se više ne koristi danas. Međutim, sledi kratko objašnjenje DDC kako bi se prikazali doprinosi. Distribuirani kontrolni sistemi, često implementirani pomoću personalnih računara, su najnovija sredstva za sprovođenje kontrole procesa uz pomoć računara.

Monitoring procesa pomoću računara. Računarsko nadgledanje procesa je jedan od načina na koji se računar povezuje sa procesom. To podrazumeva korišćenje računara za

posmatranje procesa i prateće opreme i za prikupljanje i snimanje podataka iz operacija. Računar se ne koristi direktno za kontrolisanje procesa. Kontrola ostaje u rukama ljudi koji koriste podatke za upravljanje i pokretanje procesa. Podaci prikupljeni od računara u porcesu monitoringa pomoću računara mogu se generalno klasifikovati u tri kategorije:

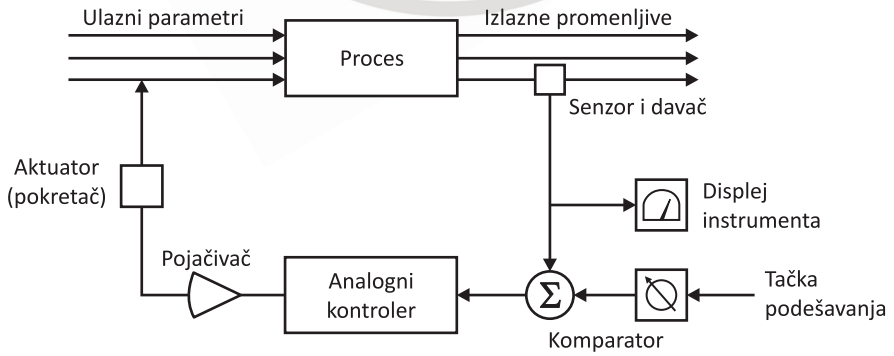
1. Podaci o procesu. Ovo su izmerene vrednosti ulaznih parametara i izlaznih promenljivih koje pokazuju proces rada. Kada se pokaže da vrednosti ukazuju na problem, ljudski operater preuzima korektivne akcije.

2. Podaci o opremi. Ovi podaci ukazuju na status opreme u radnoj ćeliji. Podaci se koriste za praćenje korišćenja mašine, menjanje rasporeda alata, izbegavanje kvarova mašina, dijagnozu kvarova opreme i plan preventivnog održavanja.

3. Podaci o proizvodu. Državni propisi zahtevaju od određenih industrija prikupljanje i očuvanje podataka o proizvodnji na svojim proizvodima. Podrška farmaceutskoj i medicinskoj industriji je jednostavan primer. Monitoring pomoću računara je najpogodniji način zadovoljenja ovih propisa. Pojedine firme, takođe, mogu da požele da se prikupe podaci o proizvodima za sopstvene upotrebe.

Prikupljanje podataka iz fabričkih operacija se može postići na nekoliko načina. Podaci mogu da se unose od strane radnika putem ručnih terminala koji se nalaze širom postrojenja ili mogu automatski da se prikupljaju putem graničnih prekidača, senzora sistema, bar kod čitača ili drugih uređaja.

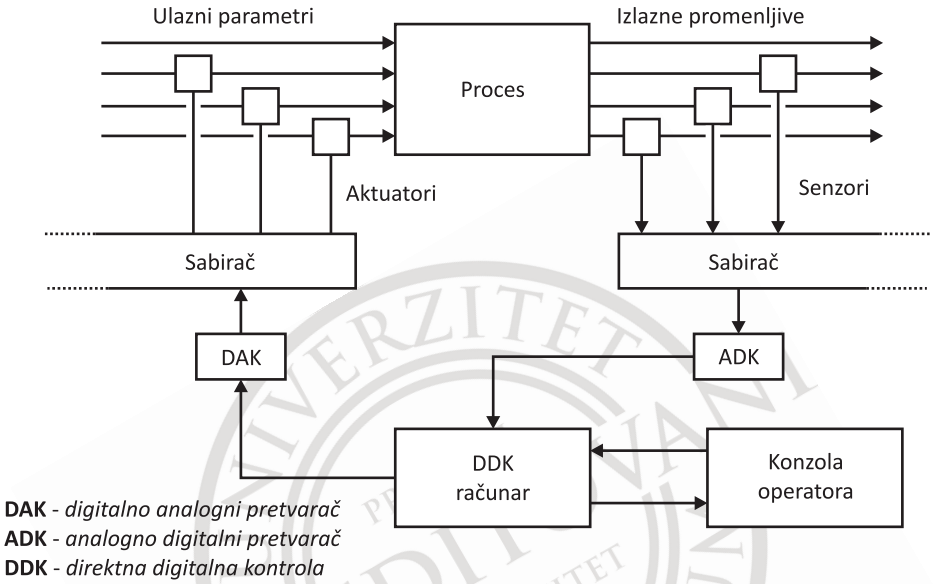
Direktna digitalna kontrola. DDC je svakako jedan od važnih koraka u razvoju kontrole procesa pomoću računara. DDC je računarski sistem kontrole procesa u kojem su određene komponente konvencionalnog analognog sistema kontrole zamenjene digitalnim računarom. Regulisanje procesa postiže digitalni računar primenom vremenski uzorkovane baze podataka mnogo brže nego da je angažovano mnogo pojedinačnih analognih komponenti koje rade u kontinualnom procesu. Sa DDC, računar izračunava željene vrednosti ulaznih parametara i podešene tačke, a te vrednosti se primenjuju kroz direktan link ka procesu, te otuda naziv "direktna digitalna" kontrola.



Slika 3.6. *Tipična analogna kontrolna petlja*

Razlika između direktne digitalne kontrole i analogne kontrole može se videti upoređivanjem slika 3.6 i 3.7. Slika 3.6 pokazuje instrumente za tipičnu petlju analogne kontrole.

Ceo proces bi se sastojao od mnogo pojedinačnih petlji kontrole, ali samo jedna je ovde prikazana. Tipične hardverske komponente analogne petlje kontrole uključuju senzore i davače, instrument za prikazivanje izlaza promenljive, mesto za "povezivanje" pojedinih tačaka petlje, komparator, analogni kontroler, pojačivač i aktuator.



Slika 3.7. *Komponente DDC sistema*

U DDC sistemu (slika 3.7). neke komponente za kontrolu petlje ostaju nepromenjene, uključujući i (verovatno) senzore i pretvarače, kao i pojačivače i aktuatore. Komponente koje će, verovatno, biti zamenjene u DDC sistemu su analogni kontroler, instrument za snimanje i prikazivanje podataka i komparator. Nove komponente u petlji uključuju digitalni računar, analogno-digitalne i digitalno-analogne konvertore (ADK i DAK), kao i multipleksere za deljenje podataka iz različitih kontrolnih petlji sa istim računarom.

DDC je prvobitno zamišljen kao sredstvo za efikasnije obavljanje iste vrste kontrolne akcije, kao i analogne komponente koje se zamenjuju. Međutim, u praksi se jednostavno koristi digitalni računar da imitira rad analognih kontrolera i to je, izgleda, prelazna faza u procesu kontrole putem računara. Dodatne mogućnosti za kontrolu putem računara su prepoznate, uključujući:

- Više opcija kontrole od tradicionalnih analognih. Sa kontrolom uz pomoć digitalnog računara moguće je obavljati više složenih algoritama kontrole nego sa konvencionalnim proporcionalno-integralnim režimima kontrole koje koriste analogni kontroleri: na primer, uključivanje i/ili isključivanje kontrole ili nelinearne funkcije koje se mogu implementirati u kontrolu.

- Integracija i optimizacija više petlji. To je sposobnost da se integrišu povratna merenja sa više petlji i da se sprovede strategija optimizacije za poboljšanje ukupnih performansi procesa.

- Sposobnost da se uređuju programi kontrole. Upotreba digitalnog računara čini relativno lako promenu algoritama kontrole kada je potrebno, i to jednostavnim reprogramiranjem računara. Reprogramiranje analogne petlje kontrole će verovatno zahtevati promene hardvera, koje su skupe i manje zgodne.

Ova poboljšanja, koja je doneo originalni koncept direktne digitalne kontrole, manje ili više su zastarela. Pored toga, sama računarska tehnologija je napredovala, tako da su dramatično manji, jeftiniji i još moćniji računari dostupni za kontrolu procesa. To je dovelo do toga da je kontrola procesa pomoću računara ekonomski opravdana za mnogo manje razmere procesa i opreme. Takođe je motivisano korišćenje distribuiranih sistema kontrole tistema, u kojima se mreža mikroračunara koristi za kontrolu složenog procesa, koji se sastoji od više operativnih jedinica i/ili mašina.

Numerička kontrola i robotika. Numeričko upravljanje (NC) je još jedan oblik industrijske kontrole pomoću računara. To podrazumeva korišćenje računara (opet, mikroračunara) direktno sa alatom mašine preko niza koraka obrade, definisanih programom sa uputstvima, navodeći detalje o svakom koraku i njihove karakteristične sekvence. Kvalitetna osobina NC kontrole je relativan položaj alata u odnosu na objekat (radni deo) koji se obrađuje. Proračuni moraju da se obave kako bi se odredila putanja koju će pratiti rezni alat po geometrijskom obliku dela.

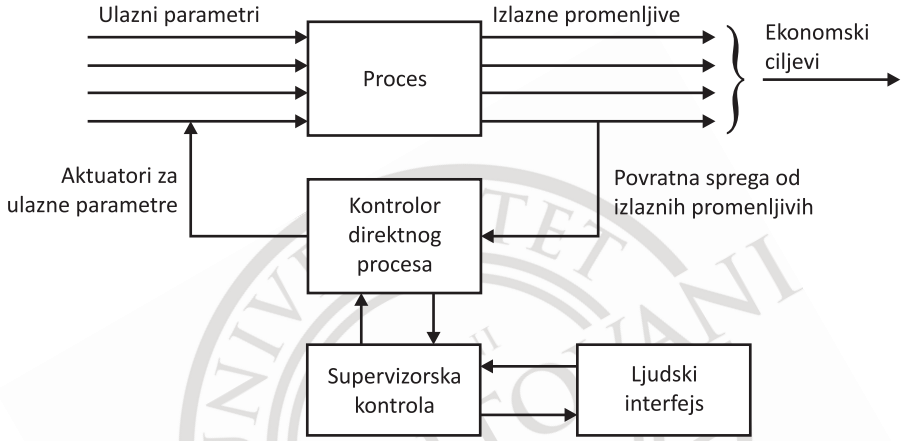
U tesnoj vezi sa NC je industrijska robotika, u kojoj se zglobovima manipulatora (ruka robota) kontroliše kretanje kraja ruke kroz niz pozicija (položaja) u toku radnog ciklusa. Kao što je slučaj i kod NC, kontroler mora da izvrši izračunavanja u toku radnog ciklusa za primenu interpolacije kretanja, povratne informacije za kontrolu i druge funkcije. Pored toga, radna ćelija sa robotima obično uključuje i drugu opremu pored robota, kao i to da aktivnosti drugih uređaja u radu ćelije moraju biti koordinirane sa aktivnostima robota.

Programabilni logički kontroleri. Programabilni logički kontroleri (PLC), uvedeni su oko 1970. godine, kao poboljšanje u odnosu na kontrolere u obliku elektromehaničkih releja, koji su se koristili u to vreme za implementaciju diskretnih kontrola u diskretnim industrijama. Evolucija PLC-a je bila olakšana napretkom u računarskoj tehnologiji, a trebalo bi napomenuti i da je današnji PLC mnogo sposobniji od kontrolera iz 1970. godine. Savremeni programabilni logički kontroler može se definisati kao kontroler zasnovan na mikroprocesoru koji koristi uskladištene instrukcije u memoriji i koji je u stanju da implementira logiku, redosled, tajming, brojanje i aritmetičke funkcije za kontrolu mašina i procesa. Današnji PLC se koristi i za kontinualnu i za diskretnu kontrolu koja se primenjuje i u procesnoj industriji i u diskretnoj proizvodnji.

Nadzorna kontrola. Termin nadzorna kontrola se obično vezuje za procesnu industriju, ali se koncept podjednako odnosi i na diskretnu automatizaciju proizvodnje, gde ona odgovara na kontrole na nivou ćelije (jedinice) ili na nivou sistema. Nadzorna kontrola predstavlja viši nivo kontrole od DDC, NC i PLC. U principu, ove druge vrste kontrole sistema su direktno upućene na proces. Nasuprot tome, nadzorna (supervizorska) kontrola se često superponira na ovim sistemima kontrole procesa po nivoima i usmerava njihov rad. Odnos između nadzorne kontrole i tehnika kontrole procesa po nivoima je ilustrovan na slici 3.8.

U kontekstu procesne industrije, supervizorska kontrola označava sistem kontrole koji

upravlja aktivnostima određenog broja integrisanih operacija radi postizanja određenih ekonomskih ciljeva za proces. U nekim primenama, nadzorna kontrola nije mnogo više od regulatorne kontrole ili kontrole sa unapred definisanim parametrima. U ostalim aplikacijama, sistem supervizorske kontrole je dizajniran da sprovede optimalnu ili adaptivnu kontrolu. On nastoji da optimizuje neke dobro definisane funkcije cilja, koje se obično zasnivaju na ekonomskim kriterijumima, kao što su prinos, stopa proizvodnje, cena, kvalitet ili drugi ciljevi koji se odnose na proces rada.



Slika 3.8. *Nadzorna kontrola se superponira sa drugim sistemima za kontrolu*

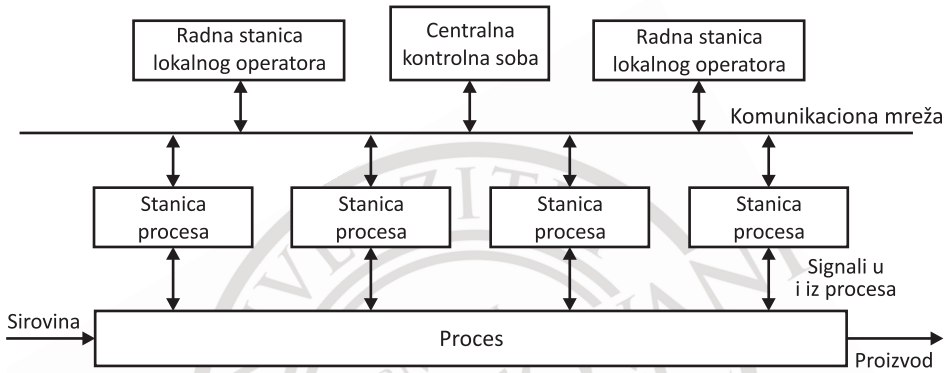
U kontekstu diskretne proizvodnje, supervizorska kontrola se može definisati kao sistem kontrole koji usmerava i koordinira aktivnosti u interakciji nekoliko komada opreme u proizvodnoj ćeliji ili sistemu, kao što su grupa mašina povezana sa sistemom za rukovanje materijalom. Trebalo bi napomenuti, ciljevi nadzorne kontrole motivisani su ekonomskim razlozima i mogu da uključuju minimiziranje dela ili proizvodnih troškova utvrđivanjem optimalnih uslova rada, maksimalno iskorišćenje mašina kroz efikasno planiranje ili minimiziranje troškova alata praćenjem životnog veka alata i raspoređivanjem izmene alata.

To je primamljivo da nadzorni sistem kontrole bude u potpunosti automatizovan, tako da sistem radi bez ljudskog mešanja ili pomoći. Ali, u gotovo svim slučajevima, nadzorni sistemi kontrole su dizajnirani tako da omogućavaju interakciju sa ljudskim operaterima, a odgovornost za kontrolu deli između kontrolera i ljudi. Relativne proporcije odgovornosti se razlikuju, u zavisnosti od primene.

Distribuirani sistemi za kontrolu. Sa razvojem mikroprocesora, postalo je moguće povezivanje više mikroračunara kako bi se podelila i distribuirala kontrola procesa radnog dela. Termin distribuirani kontrolni sistem (DCS) se koristi da opiše takvu konfiguraciju, koja se sastoji od sledećih komponenti i mogućnosti:

- Višestruke stanice za kontrolu procesa locirane su širom fabrike u cilju kontrole pojedinih petlji i uređaja procesa.
- Centralna kontrolna soba opremljena je stanicama na kojima rade operatori, gde dolaze i učesnici nadzorne kontrole fabrike.

- Stanice lokalnog operatera distribuiraju se po celoj fabrici. Ovo omogućava DCS sa određenom dozom redundantnosti. Ako dođe do prekida kontrole u centralnoj kontrolnoj sobi, stanica lokalnog operatera preuzima funkciju centralne kontrole. Ukoliko dođe do prekida na stanici lokalnog operatera, onda stanica drugog lokalnog operatera preuzima funkcije te stanice.
- Svi stanice operatera i procesa komuniciraju jedna sa drugima putem komunikacione mreže.



Slika 3.9. *Distribuirani sistem kontrole*

Ove komponente su ilustrovane u tipičnoj konfiguraciji distribuiranog sistema kontrole procesa na slici 3.9. Postoji veliki broj prednosti DCS:

- DCS može biti instaliran kroz osnovnu konfiguraciju za datu primenu, a zatim poboljšavan i proširivan kada je to potrebno u budućnosti.
- Sistem se sastoji od više računara i ovo olakšava paralelno obavljanje više zadataka.
- Zbog više računara, DCS ima ugrađenu redundantnost.
- Kabliranje kontrola je smanjeno u poređenju sa centralnom konfiguracijom kontrole pomoću računara.
- Umrežavanja pružaju informacije o procesima preduzeća efikasnijim postrojenjima i menadžmentu procesa.

Personalni računari u kontroli procesa. Danas, PC dominira u svetu računara. Oni su postali standardni alat koji obavlja posao, bilo u proizvodnji ili u sektoru usluga. Dakle, nije iznenađenje što se personalni računari koriste u sve većem broju aplikacija u procesu kontrole. Dve osnovne kategorije računara u procesu implementacije kontrola može se razlikovati: (1) veza sa operatorom i (2) direktna kontrola. Bilo da se koriste kao veza sa operatorom ili za direktnu kontrolu, računari će, verovatno, biti umreženi sa drugim računarima kako bi se stvorio distribuirani sistemi kontrole.

Kada se koristi kao veza sa operaterom, PC se povezuje sa jednim ili više PLC-ova ili sa nekim drugim uređajem (verovatno i sa drugim mikroračunarima) u cilju direktnog

kontrolisanja procesa. Personalni računari su korišćeni za obavljanje funkcije povezivanja sa operatorom od ranih 1980-ih. Kroz ovu funkciju, računar obavlja određene funkcije monitoringa i kontrolnog nadzora, ali direktno ne kontroliše proces. Neke od prednosti korišćenja računara samo kao veze sa operatorom su da

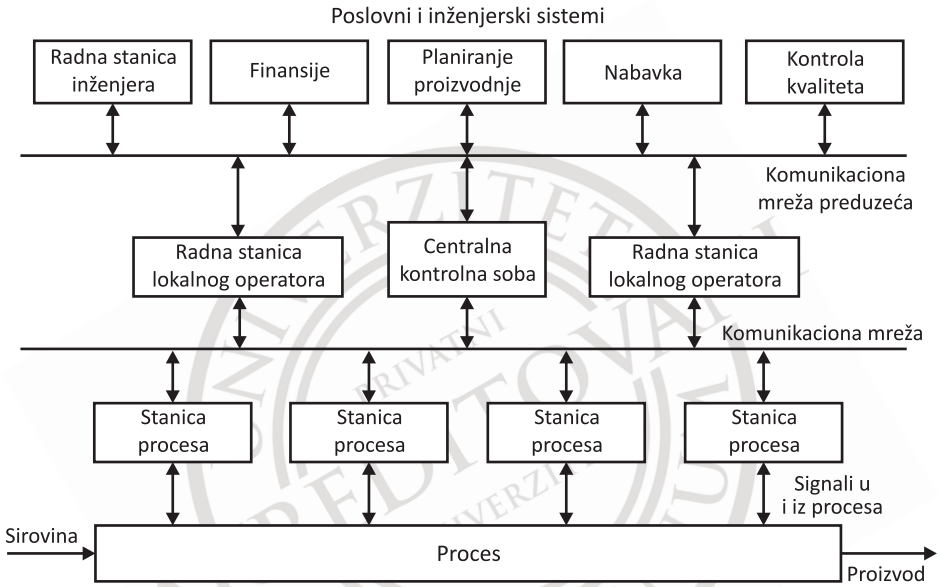
- računar obezbeđuje upotrebljivu vezu za operatora,
- računar može da se koristi za sve konvencionalne računarske obrade podataka i funkcije koje obavljaju računari tradicionalno,
- PLC ili drugi uređaji koji direktno kontrolišu proces su izolovani od PC-a, tako da eventualni problemi sa računarom neće poremetiti kontrolu procesa, i
- računar može lako da se nadogradi i poboljša kako napreduje PC tehnologija, dok PLC softver za kontrolu i veze sa procesom mogu da ostanu na "starom" mestu.

Drugi način primene računara u procesu kontrole je direktna kontrola, što znači da je računar direktno povezan na proces i kontroliše poslovanje u realnom vremenu. Tradicionalno mišljenje je da je previše rizično da se dozvoli da računar direktno kontroliše proizvodnju. Ako računar prestane sa radom, može da se nastavi nekontrolisani rad, mogu da se izrađuju neispravni proizvodi ili može da postane sve nesigurno. Drugi faktor je da su konvencionalni računari, opremljeni uobičajenim poslovno orijentisanim operativnim sistemima i aplikativnim softverima, dizajnirani za računarstvo i funkcije obrade podataka, a ne za kontrolu procesa. Oni nisu namenjeni za povezivanje sa spoljnim procesom na način koji je neophodan za kontrolu procesa u realnom vremenu. Konačno, većina računara je dizajnirana da se koriste u kancelarijskom okruženju, a ne u surovim atmosferama unutar fabrika.

Nedavni napredak u PC tehnologiji i dostupnost softvera osporili su ova tradicionalna razmišljanja. Počev od ranih 1990-tih, računari su instalirani po ubrzanom tempu za direktnu kontrolu industrijskih procesa. Nekoliko faktora je omogućilo ovaj trend:

- Široko rasprostranjeno poznavanje računara. Korisnički softver za kuću i posao je svakako doprineo popularnosti računara. Postoji rastuća očekivanja među radnicima da će obezbediti računare na svojim radnim mestima, čak i ako je to radno mesto u fabrici.
- Dostupnost računara visokih performansi koji su sposobni da zadovolje zahtevne procese kontrole.
- Trend filozofije otvorene arhitekture u sistemima za kontrolu, u kojoj su proizvođači hardvera i softvera za kontrolu saglasni da se pridržavaju standarda koji dozvoljavaju da njihovi proizvodi budu interoperabilni. To znači da komponente različitih proizvođača mogu biti povezane u istom sistemu. Tradicionalna filozofija je bila da se zahtevalo od korisnika da kupi kompletan hardver i softverski paket od jednog dobavljača. Otvorena arhitektura omogućava korisniku širi izbor proizvoda u dizajnu za datu primenu kontrole procesa.

- Dostupnost PC operativnih sistema koji olakšavaju rad u realnom vremenu za kontrolu, multitasking i umrežavanje. U isto vreme, ovi sistemi omogućavaju korisniku da povezuju desktop personalne računare i većinu "moćnih" inženjerskih radnih stanica. Instaliran u fabrici, računar opremljen odgovarajućim softverom može da obavlja istovremeno više funkcija, kao što su logovanje, analize trendova i prikazivanje animiranih pogleda na proces, jer nastavlja, sve dok ima rezervisan deo CPU kapaciteta, neposrednu kontrolu procesa.



Slika 3.10. *Distribuirani sistem kontrole*

Široka integracija fabričkih podataka. Najnovije napredovanje unutar distribuirane kontrole preduzeća zasnovane na personalnim računarima je širenje integracije fabričkih podataka o radu, kao što se vidi na slici 3.10. Ovaj trend je u skladu sa savremenim upravljanjem informacijama i filozofije "osnaživanja" samog radnika. Ove filozofije pretpostavljaju manje nivoe menadžmenta za upravljanje i veću odgovornost za radnike u prodaji, skladištima i proizvodnji. Mrežne tehnologije koje omogućavaju takve integracije su na raspolaganju. Najnoviji operativni sistemi personalnih računara obezbeđuju brojne ugrađene i opcione funkcije za povezivanje industrijskog sistema kontrole u fabrici sa poslovnim sistemima u celom preduzeću (u celoj kompaniji) i podržava razmenu podataka između različitih aplikacija (na primer, omogućava da se podaci prikupljeni u fabrici koriste u programskim paketima za analizu, kao što programi za rad sa unakrsnim tabelama).

Termin *Enterprise Resource Planning* (ERP) se odnosi na računarski softverski sistem koji ostvaruje integraciju na nivou cele kompanije, ne samo fabričkih podataka, nego i svih drugih podataka potrebnih za izvršavanje funkcija poslovanja organizacija. Ključna karakteristika ERP-a je korišćenje jedne centralne baze podataka kojoj se može pristupiti sa bilo kog mesta u kompaniji.

Slede neke od mogućnosti koje su postale dostupne na osnovu toga što su postali dostupni i podaci o procesima unutar kompanije:

- Menadžeri imaju direktan pristup operacijama fabrike (kompanije).
- Planeri imaju većinu potrebnih podataka "vezanih" za proizvodne linije.
- Osoblje zaduženo za prodaju može da daje realne rokove za isporuku proizvoda mušterijama (kupcima).
- Odeljenje za kontrolu kvaliteta ima pristup podacima o kvalitetu prethodnih serija.
- Proizvodni personal može da "priđe" projektnim podacima kako bi se izbegle nesuglasice i kako bi se otklonile eventualne greške.



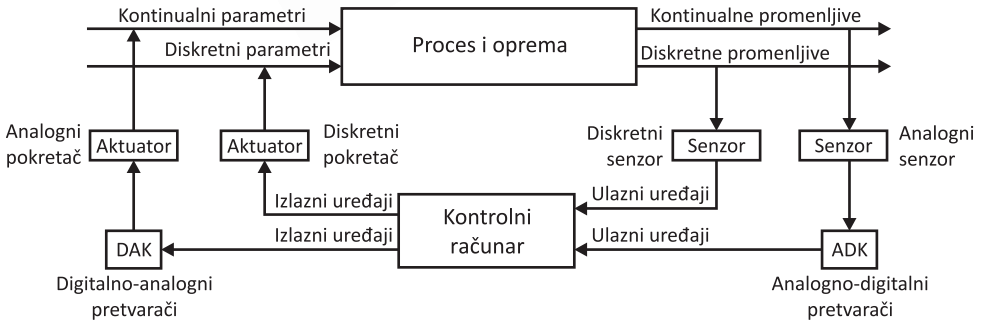
Slika 3.11. *Industrijski sistemi kontrole*

Glava 4

Hardverske komponente za automatizaciju i kontrolu procesa

Da bi se primenila automatizacija i kontrola procesa, računar koji obavlja kontrolu mora da prikuplja podatke od prenosa signala do procesa proizvodnje. U prethodnom poglavlju, varijable procesa i parametri su bili klasifikovani kao kontinualni ili diskretni, sa nekoliko podkategorija u diskretnoj klasi. Digitalni računar radi sa digitalnim (binarnim) podacima, dok su bar neki od podataka iz procesa kontinualni i analogni. O ovim razlikama moralo bi da se vodi računa prilikom povezivanja računara i procesa. Komponente potrebne za primenu ove veze su sledeće:

- senzori za merenje kontinualnog procesa i diskretnih promenljivih;
- aktuatori koje pokreću kontinualni i diskretni parametri procesa;
- uređaji koji konvertuju kontinualne analogne signale u digitalne podatke;
- uređaji koji ostvaruju konverziju digitalnih podataka u analogne signale;
- ulazno/izlazni uređaji za diskretnu podataka.



Slika 4.1. *Regulatorna kontrola*

Slika 4.1 pokazuje celokupnu konfiguraciju sistema kontrole procesa i kako se ove komponente koriste za povezivanje procesa sa računarom. Ovaj model predstavlja opšti raspored većine sistema za rukovanje materijalom i proizvodnih sistema.

4.1. Senzori

Senzor (često i - davač, detektor) je uređaj koji meri fizičke veličine i konvertuje ih u signal koji je čitljiv posmatraču i/ili instrumentu. Na primer, živin termometar konvertuje izmerenu temperaturu u širenje živine tečnosti, koja se može očitati na cevi sa podeocima.



Slika 4.2. *Razni senzori*

Senzori imaju široku primenu u svakodnevnom životu – kod ekrana osetljivih na dodir, kod vrata i elevatora u javnim objektima, kod osvetljenja i alarma i mnogih drugih uređaja, automobila, aviona, medicinskih uređaja, robota, industrijskih mašina itd.

Indikator senzora pokazuje promene izlaznih veličina u odnosu na merene veličine. Senzori koji mere precizne veličine zahtevaju veću osetljivost.

Tehnološki napredak omogućio je izradu senzora sa mikroskopskom preciznošću. Oni koriste MEMS tehnologiju i nazivaju se mikrosenzori. Oznaka MEMS predstavlja skraćenicu od *Microelectromechanical systems* (takođe se piše i kao *micro-electro-mechanical*, *Micro-ElectroMechanical* ili *microelectronic and microelectromechanical systems*).

4.1.1. Tipovi senzora

Senzori su vrsta konvertora (pretvarača). Oni jednu fizičku veličinu pretvaraju u drugu. Zbog toga se oni mogu klasifikovati po tipu energije koju prenose.

1. **Toplotni**
   - Temperaturni senzori: termometar, termostat, bimetalni termometar,...
   - Toplotni senzori: kalorimetar, senzor protoka
2. **Elektromagnetni**
   - Senzori električnog otpora: ommetar, multimer
   - Senzori električne struje: galvanometar, ampermetar
   - Senzori električnog napona: voltmetar, elektroskop
   - Senzori električne snage: kilovat-sat merač
   - Magnetni senzori: magnetni kompas, magnetometar
   - Metal detektori
   - Radar
3. **Mehanički**
   - Senzori pritiska: barometar, barograf, manometar, merač pritiska, indikator brzine vetra
   - Senzori protoka fluida: senzor protoka, gasni senzor, presostat
   - Senzori gustine i viskoznosti fluida: viskozimetar, hidrometar
   - Mehanički senzori: senzor rastojanja, senzor ubrzanja, senzor naprezanja, senzor prekida
   - Senzori vlage: higrostat
   - Senzori nivoa tečnosti: nivostat
4. **Hemijski**
   - Senzori hemijskih elemenata: senzori kiseonika, jon-selektivne elektrode, pH staklene elektrode, detektori ugljen-monoksida
   - Senzori mirisa: QCM senzor, kalaj-oksid gas senzor. Senzori gasova se često kombinuju u jedan elektronski nos.
5. **Optički**
   - Svetlosni senzori, ili fotodetektori, uključujući poluprovodničke kao što su foto-ćelija, foto-dioda, foto-tranzistor, CCD, senzor slike i dr.
   - Infracrveni senzori (IC) koriste infracrvene zrake za detekciju predmeta u okruženju i izvora toplote
   - Senzori blizine – tip senzora rastojanja, ali mnogo precizniji i složeniji. Detektuje samo određena rastojanja. Može biti optički – kombinacija foto-ćelije, LED diode ili lasera. Koristi se kod mobilnih telefona, detektora papira kod uređaja za fotokopiranje, funkcije "uspavljivanja" kod prenosnih računara i drugih uređaja.

- Laserski skener – uzak snop svetlosti se emituje na prostor preko ogledala. Senzor foto-ćelije postavljen na određenom rastojanju prima svetlost koja se odbija od objekta koji se nađe na tom prostoru i koji se na taj način detektuje. Posebnim metodama (triangulacija) može se izračunati i rastojanje objekta od ciljane lokacije.
- Fokus – velika industrijska sočiva mogu biti fokusirana na servo sistem. Rastojanje fokusiranog elementa određuje se podešavanjem sočiva.
- Binokular – dve slike dobijene sa iste početne linije preklapaju se sistemom ogledala i prizmi. Njihovo podešavanje koristi se za utvrđivanje rastojanja.
- Interferometar – interferencija snopova poslatih i reflektovanih talasa svetlosti dobijene iz koherentnog izvora kao što je laser se meri i na osnovu dobijenih parametara izračunava se rastojenje sa izuzetno visokom preciznošću.
- Skintilometar – meri količinu rasipanja svetlosti u atmosferi
- Fiber optički senzori

6. **Jonsko zračenje**
   - Senzori zračenja: Gajgerov brojač, dozimetar, detektor neutrona, brojač iskri
   - Senzori subatomskih ostataka: Detektor ostataka, oblačna komora, atomska komora
7. **Akustički**
   - Akustički: koriste vremensko kašnjenje prostiranja ultrazvučnih UV talasa. Korišćeni su sredinom XX veka kod polaroid kamera i robota za merenje daljine.
   - Zvučni senzori: mikrofon, hidrofon, seizmometar.
8. **Ostali tipovi**
   - Senzori pokreta: radarski pištolj, brzinometar, tahometar, senzor prolaza vozila, koordinator okreta
   - Senzori orijentacije: žiroskop, veštački horizont, žiroskop sa laser prstenom
   - Senzori rastojanja – (beskontaktni) magnetostrikcija

4.1.2. Klasifikacija mernih grešaka

Idealan senzor je onaj koji je lineran u celom opsegu merenih vrednosti. Trebalo bi da je dobijeni signal uvek linearno srazmeran merenoj vrednosti. Pri tome na njega ne bi smeo da ima uticaj nijedan drugi objekat u okruženju, niti bi on smeo da ima ikakav uticaj na mereni objekat. To je u praksi neostvarivo. Zato se meri njegova **osetljivost** kao odnos između izmerene i stvarne veličine.

Odstupanja koja se javljaju kod različitih vrsta senzora su:

- Osetljivost može kod pojedinih senzora biti različita tj. varirati kod različitih veličina. To se zove **greška osetljivosti**.

- **Opseg** dobijenih veličina je uvek limitiran, tako da će jedan senzor dati svoju maksimalnu, odnosno minimalnu vrednost u slučaju da su izmerene vrednosti izvan punog opsega senzora.
- Ako dobijena veličina nije nula, kada je merena veličina nula kaže se da senzor ima pomeraj (*offset*).
- Kada osetljivost nije konstantna za različite izmerene vrednosti, to se naziva **nelinearnost**. Ona se obično javlja na krajevima opsega merenja.
- Devijacija koja se javlja zbog velikih promena merenih veličina naziva se **dinamička greška**.
- Ako izlazni signal menja otpornost merenog objekta to se naziva **pomak**.
- **Vremenski otklon** se javlja usled dugotrajnog korišćenja senzora.
- Šum (engleski *noise*) predstavlja nepredvidive devijacije u signalu tokom vremena.
- **Histereza** je greška koja se javlja kada se promenom položaja merenog objekta dobijaju različite i neodgovarajuće vrednosti na izlazu.
- Kod senzora sa digitalnim izlazom obavezno dolazi do aproksimacije dobijenih veličina i to je **greška aproksimacije** ili **greška digitalizacije**.
- Senzori u nekim slučajevima mogu biti ometeni delovanjem merenog objekta, na primer njegovom temperaturom ili zračenjem.

Sve ove greške mogu se podeliti na **sistemske greške** i **slučajne greške**. Sistemske greške se predupređuju različitim vrstama kalibracije, dok se slučajne greške, kao što su različite vrste šumova, smanjuju procesiranjem signala, filtracijom i slično.

4.1.3. Biološki senzori

Živi organizmi poseduju biološke senzore koji funkcionišu slično dosada opisanim tipovima. U najvećem broju slučaja oni su poslužili kao inspiracija za dizajniranje tehničkih senzora.

Živi organizmi poseduju ćelije osetljive na:

- svetlo, pokret, temperaturu, magnetno polje, gravitaciju, vibracije, vlagu, pritisak, električno polje, zvuk i druge uticaje spoljašnjeg okruženja;
- fizičke aspekte unutrašnjosti kao što su: istazanje, pokreti organizma, lokacija upale;
- veliki broj jedinjenja kao što su toksini, hranjiva jedinjenja i feromoni;
- prisustvo interakcije biomolekula i nekih kinetičkih parametara;
- mnogobrojne promene unutrašnjeg metabolizma: nivo šećera, nivo oksigena, pritisak u krvi;
- konstantne promene kod signalnih molekula kao što su hormoni, neurotransmiteri;

- proteine pojedinih organizama.

Veštački senzori koji imitiraju biloške senzore koristeći biološke senzitivne komponente nazivaju se **biosenzori**. Ljudski razum je klasičan primer funkcionisanja specijalnih neuronskih senzora.

4.1.4. Geodetski senzori

Geodetski merni instrumenti određuju pomeranje ili kretanje objekta u jednoj, dve ili tri dimenzije. To podrazumeva korišćenje uređaja kao što su totalna stanica i sistem satelitskih prijemnika za globalnu navigaciju.

4.2. Aktuatori

Aktuator je uređaj koji kontrolisano pretvara električnu energiju (ili neku drugu) u mehaničku energiju. Elektromagnetski aktuatori pretvaraju energiju elektromagnetskog polja u mehaničku energiju koja generiše kretanje. Elektromagnetski aktuatori su pogodni za "srednje" pogonske momente i sile. Pneumatski aktuatori pretvaraju energiju koju daje pritisak gasa u kretanje. Pneumatski aktuatori su pogodni za manje pomicanje. Hidraulički aktuatori pretvaraju energiju pritiska tečnosti u pomicanje. Hidraulički aktuatori su pogodni za generisanje velikih sila i srednja pomicanja. Piezoelektrični aktuatori pretvaraju elektrostatičku energiju u pomicanje površina i zbog toga su pogodni za mala pomicanja i srednje sile.

Jednostavno rečeno, aktuator je nešto što pretvara energiju u kretanje. Može da se koristi i za primenu sile. Aktuator je obično mehanički uređaj koji uzima energiju, obično stvorenu od strane vazduha, struje ili tečnosti, i pretvara je u neku vrstu kretanja. To kretanje može da se koristi za bilo šta – od blokiranja do stezanja i izbacivanja. Aktuatori se obično koriste u proizvodnji ili industrijskim aplikacijama i mogu se koristiti u elementima kao što su motori, pumpe, prekidači i ventili.

Možda je najčešći tip aktuatora koji pokreće vazduh – pneumatski cilindar, takođe poznat kao vazdušni cilindar. Vazdušni cilindri su obično napravljeni od metala, koji koriste energiju komprimovanog vazduha da pokreće klip. Vazdušni cilindri se najčešće koriste u proizvodnji i procesima pri montaži. Hvataljke, koje se koriste u robotici, koriste aktuatore koje pokreće komprimovani vazduh i njihovo kretanje je vrlo slično kretanju ljudskih prstiju.

Aktuatori mogu da se pogone i primenom struje ili hidraulike. Slično kao i kod vazdušnih cilindara, to su električni i hidraulični cilindri, gde cilindar konvertuje struju ili hidrauliku u pokret. Hidraulički cilindri se često koriste za određene vrste vozila.

Mnogi aktuatori imaju više od jednog tipa izvora napajanja. Elektromagnetni ventili, na primer, mogu da se napajaju vazduhom i električnom energijom. Struja napaja solenoid, a solenoid putem vazduha aktivira ventil. Alternativno, solenoid može da se pogoni hidraulikom i električnom energijom.

Aktuatori mogu da kreiraju linearno, rotaciono ili oscilatorno kretanje. To jest, oni mogu

stvoriti kretanje u jednom smeru, u kružnim pokretima ili u suprotnim pravcima u redovnim intervalima. Hidraulički i vazdušni cilindri mogu da se klasifikuju kao aktuatori jednostrukog dejstva, što znači da izvor energije izaziva kretanje u jednom smeru i opruga se koristi za kretanje u drugom smeru. Osim toga, ovi cilindri mogu biti cilindri dvostrukog dejstva, što znači da se energija koristi u dva smera ili pravca.

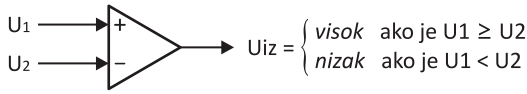


Slika 4.3. *Razni aktuatori*

Dok se o aktuatorima obično govori u smislu mehaničkog oruđa, mišići se ponekad navode kao primer aktuatora. Energija (na primer, stvorena je varenjem hrane sa ugljenim hidratima) se konvertuje od strane mišića (tj. aktuator) u pokret (na primer, šutiranje lopte).

4.3. Analogno-digitalni pretvarači – A/D

Analogno-digitalni pretvarač (A/D) predstavlja interakciju između analognih i digitalnih sistema. A/D pretvarač pretvara analogni ulazni signal u digitalni izlazni signal. Najšešće upotrebljavni A/D pretvarači su brojila upravljana od strane A/D pretvarača, A/D pretvarač sa sukcesivnom aproksimacijom i A/D pretvarač sa dvostrukom rampom.

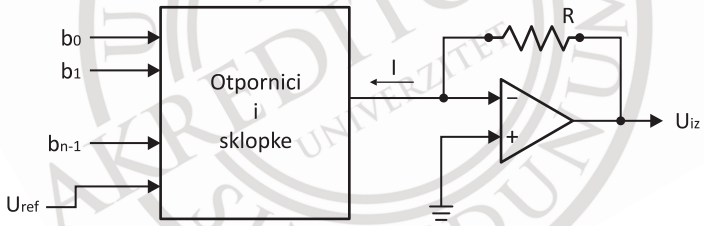


Slika 4.4. *Blok šema komparatora*

Glavni sklop A/D pretvarača je analogni upoređivač, tj. komparator. Blok dijagram analognog upoređivača prikazan je na slici 4.4. Ulazni signali u komparator su naponi U_1 i U_2, dok je izlaz digitalni napon U_{iz}. Kada komparator na svom izlazu daje naponski signal visoke vrednosti, onda je reč o logičkoj jedinici, dok u slučaju kada je $U_1 < U_2$ izlazni napon je niske vrednosti i onda je reč o logičkoj nuli.

4.4. Digitalno-analogni pretvarači – D/A

Digitalno-analogni pretvarač (D/A) predstavlja interakciju između digitalnih i analognih sistema. Digitalno analogni pretvarač prihvata na svom ulazu n-bitni paralelni digitalni kôd, a na izlazu daje odgovarajuću analognu vrednost napona ili struje. Sklop digitalno analognog pretvarača sastavljen je od lestvičaste mreže otpornika čije se grane uključuju i isključuju zavisno od digitalnih vrednosti koje se pretvaraju, te od operacionog pojačivača koje služi kao sabirnica dolaznih struja. Na slici 4.5 prikazan je blok dijagram D/A pretvarača.



Slika 4.5. *Blok dijagram D/A pretvarača*

Iznos analognog izlaznog napona n-bitnog ulaznog binarnog koda sledi iz izraza

$$U_{iz} = -U_{ref} \times \left(b_0 + b_1 \times 2^{-1} + b_2 \times 2^{-2} + \cdots + b_n \times 2^{-n+1}\right)$$

pri čemu je

- U_{iz} – analogni izlazni napon,
- U_{ref} – referentni analogni ulazni napon,
- b_0 – bît najveće težine ulaznog binarnog koda, i
- b_{n-1} – bît najmanje težine ulaznog binarnog koda.

Operacioni pojačivač se koristi na izlazu sklopa radi strujno-naponskog pretvaranja. Kod primena koje zahtevaju brza D/A pretvaranja uz ograničeno područje izlaznog napona, strujno-naponsko pretvaranje se ostvaruje pomoću otpornika, čime se uklanja kašnjenje u radu operacionog pojačivača.

Glava 5

Numerička kontrola

Numerička kontrola (NC) je oblik programiranja automatizacije u kojem se kontrolišu mehaničke akcije alatne mašine ili druge opreme pod uticajem programa koji sadrži kodirane alfanumeričke podatke. Alfanumerički podaci predstavljaju relativne pozicije između alata i radnog dela, kao i druge potrebne instrukcije za rad mašine. Alat predstavlja rezni alat ili drugu procesnu aparaturu, a radni deo je predmet koji se obrađuje. Kada je trenutni posao završen, program uputstva može da se promeni za potrebe procesa novog posla. Sposobnost za promenu programa čini NC pogodnim za male i srednje proizvodnje. Mnogo je lakše da se napišu novi programi, nego da se prave velike promene u procesnoj opremi.

Numerička kontrola može da se primeni na širok spektar procesa. Aplikacije mogu da se podele u dve kategorije:

- aplikacije za mašine alatke, kao što su bušenje, glodanje, struganje i druge obrade metala, i
- aplikacije za druge poslove, kao što su montaža, izrada i inspekcija.

Zajednička karakteristika rada svih ovih NC aplikacija je kontrola kretanja alata u odnosu na radni deo. Koncept numeričke kontrole datira iz kasnih 1940-ih. Prva NC mašina je razvijena 1952. godine.

5.1. Osnove NC tehnologije

Da bi se predstavila NC tehnologija, trebalo bi, najpre, definisati osnovne komponente NC sistema. Nakon toga, trebalo bi opisati NC koordinatni sistem koji je u opštoj upotrebi i kontrolisane vrste kretanja koje se koriste u NC.

5.1.1. Osnovne komponente NC sistema

NC sistem se sastoji od tri osnovne komponente:

1. programa instrukcija za izradu dela,

2. upravljačke jedinice mašine (UJM) ili kontrolne jedinice mašine (MCU), i
3. procesne opreme za obradu.

Opšti odnos između tri pomenute komponente ilustrovan je na slici 5.1.



Slika 5.1. *Regulatorna kontrola*

Program za izradu delova je skup detaljnih korak-po-korak komandi koje usmeravaju delovanje procesne opreme. U aplikacijama za mašine alatke, lice koje priprema program se zove programer delova. U tim aplikacijama, pojedinačne komande se odnose na pozicije reznog alata u odnosu na radni sto na kome je pričvršćen radni deo. Dodatna uputstva su obično uključena, kao što su brzina vretena, stopa rezanja, izbor reznog alata i druge funkcije. Program je pogodan za izvršavanje i prosleđuje se upravljačkoj jedinici mašine. Dugi niz godina, zajednički medijum je bila 1-inčna široka traka, gde su podaci zapisivani standardnim formatom, koje su mogle da tumače kontrolne jedinice mašine. Danas, trake su zamenjene novijim tehnologijama za skladištenje podataka. Ove tehnologije uključuju magnetne trake, diskete, diskove i elektronski transfer dela programa iz računara.

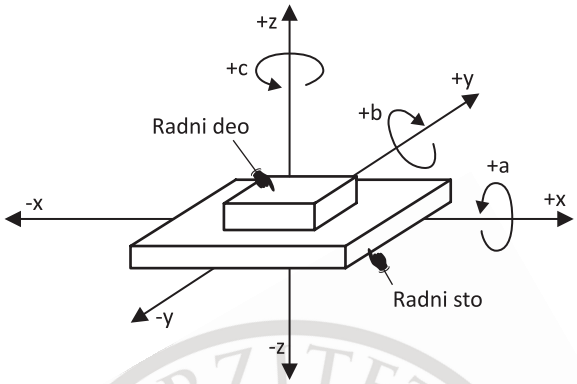
U modernoj NC tehnologiji, kontrolna jedinica mašine (MCU) je mikroračunar i srodni hardver za kontrolu koji skladišti program uputstva i izvršava ga konvertovanjem svake komande u mehaničku akciju procesne opreme, jednu po jednu komandu. Srodni MCU hardver uključuje komponente za povezivanje sa procesnom opremom i elemente kontrole sa povratnom spregom. MCU, takođe, uključuje jedan ili više uređaja za čitanje kako bi se "ubacio" program za izradu dela u memoriju. Softver smešten u MCU obuhvata kontrolu sistemskog softvera, algoritme za proračune i softver za konverziju NC programa za izradu dela u upotrebljiv format za čipove. Pošto je MCU računar, termin *Computer Numerical Control* (CNC) se koristi za razlikovanje ovog tipa NC od svojih prethodnika koji su tehnološki u potpunosti bili zasnovani na kablovskoj elektronici. Danas, praktično svi novi MCU su zasnovani na računarskoj tehnologiji – dakle, kad se misli na NC u ovom poglavlju i na drugim mestima, misli se na CNC.

Treći osnovni sastojak NC sistema je oprema za obradu koja obavlja stvarni produktivan rad (na primer, obrade). Ona ostvaruje obradne korake da transformiše početni radni predmet u završen deo. Njen rad je "režiran" od strane čipova, tj. MCU-a, koji je, opet, vođen uputstvima koja se nalaze u programu za izradu dela. Najčešći primer za NC mašinsku obradu, predstavlja procesnu opremu koja se sastoji od radnog stola, vretena, kao i motora da ih pokreće i kontroliše.

5.1.2. NC koordinatni sistemi

Za programiranje NC procesne opreme, programer dela mora da definiše standardne ose sistema pomoću koji može da relativno pozicionira alat u odnosu na radni deo. Postoje

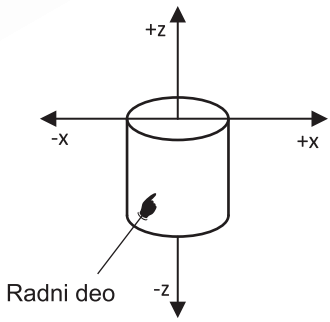
dva sistema osa koji se koriste u NC, jedan za ravne i prizmatične radne delove i drugi za rotacione delove. Oba sistema osa su zasnovana na Dekartovom koordinatnom sistemu.



Slika 5.2. *Koordinatni sistem za ravne i prizmatične delove*

Sistem osa za ravne i prizmatične delove se sastoji od tri linearne ose (x, y i z) Dekartovog koordinatnog sistema, plus tri ose rotacije (a, b i c), kao što je prikazano na slici 5.2. U većini aplikacija mašine alatke, x i y ose se koriste za kretanje i položaj radnog stola na koji je deo pričvršćen, a z osa se koristi za kontrolu vertikalne pozicije reznog alata. Takvo šema pozicioniranja je adekvatna za jednostavne NC aplikacije kao što su bušenje i probijanje ravnih limova. Programiranje ovih alatnih mašina je malo kompleksnije, a nije samo puko navođenje $x - y$ koordinata.

Ose rotacije a, b i c određuju ugaone pozicije oko x, y i z ose, respektivno. Da bi se razlikovali pozitivni od negativnih uglova, primenjuje se pravilo desne ruke – koristi se desna pesnica sa palcem okrenutim u pozitivnom smeru linearne ose ($+x$, $+y$ ili $+z$), onda savijeni prsti ruke pokazuju pozitivni smer rotacije oko te ose. Ose rotacije mogu da se koristi za sledeće: (1) orijentaciju radnog dela da bi se predstavile različite površine za obradu ili (2) orijentaciju alata ili glave alata pod nekim uglom u odnosu na deo. Ove dodatne osobine osa dozvoljavaju obradu radnih delova sa složenom geometrijom. Alatne mašine sa mogućnošću rotacije generalno imaju ili četiri ili pet osa – tri linearne ose kao i jednu ili dve rotacione ose. Većina NC mašina alatki ne zahtevaju svih šest osa.



Slika 5.3. *Koordinatni sistem za rotacione delove*

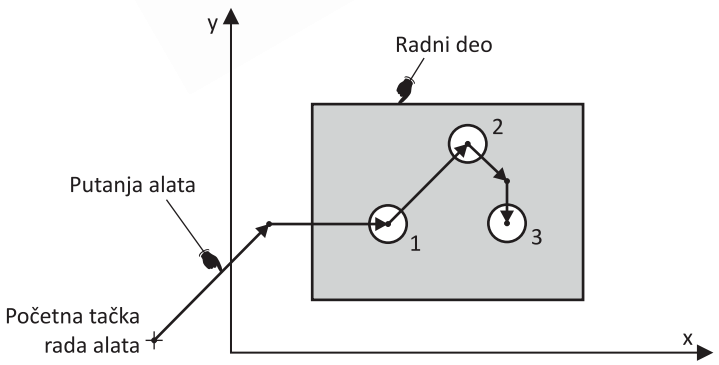
Koordinatne ose za rotacioni NC sistem su ilustrovane na slici 5.3. Ovi sistemi su povezani sa NC strugove i obrtne obradne centre. Iako posao "rotira", to nije jedna od osa koja se kontroliše na većini strugova. Shodno tome, y osa se ne koristi. Put reznog alata u odnosu na rotirajući radni komad je definisan u $x-z$ ravni, gde je x osa radijalna lokacija alata i z osa je paralelna sa osom rotacije dela.

Programer dela mora da odluči gde bi trebalo postaviti koordinatni početak koordinatnog sistema. Ova odluka se obično zasniva na programskim pogodnostima. Na primer, koordinatni početak bi mogao da se nalazi na jednom od uglova dela. Ako je radni deo simetričan, koordinatni poštak može da bude u centru simetrije. Gde god bila ova lokacija, ova tačka je nulta tačka i saopštava se operatoru mašine alatke. Na početku posla, operater treba "ručno" da premesti rezni alat na odredišnu tačku na radnom stolu, gde se alat lako i precizno pozicionira. Ciljna (odredišna) tačka upućuje na prethodno definisane ose koordinatnog sistema, koje je odredio programer dela. Kada je alat precizno pozicioniran na ciljnu tačku, operater ukazuje MCU gde je lociran koordinatni početak za naredne pokrete alata.

5.1.3. Sistemi kontrole kretanja

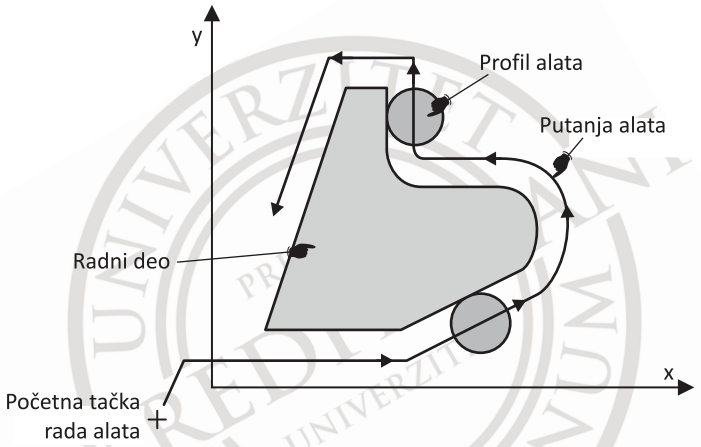
Neki NC procesi se obavljaju u diskretnim lokacijama na radnom delu (na primer, bušenje i tačkasto zavarivanje). Drugi se sprovode, a radni deo se kreće (na primer, struganje, glodanje i kontinualno zavarivanje). Ako se radni deo kreće, može biti neophodno da sledi pravolinijsku ili kružnu ili drugu krivolinijsku putanju. Ove različite vrste kretanja se ostvaruju od strane sistema kontrole kretanja, čije funkcije su ispod objašnjene.

Kontrola kretanja od-tačke-do-tačke u odnosu na kretanje po kontinualnoj putanji. Sistemi kontrole kretanja za NC (i robotiku) mogu se podeliti u dva tipa: (1) od tačke do tačke i (2) kontinualna putanja. Sistem od tačke do tačke, takođe, se naziva i pozicioni sistem, pomera radni sto do programirane lokacije bez obzira na putanju koju će izabrati da dođe do te lokacije. Kada je taj potez završen, neka obradna akcija se vrši na toj lokaciji od strane glave sa alatima (alatom), kao što je bušenje i probijanje rupe. Program se sastoji od niza tačaka lokacija na kojima se izvode operacije (slika 5.4).



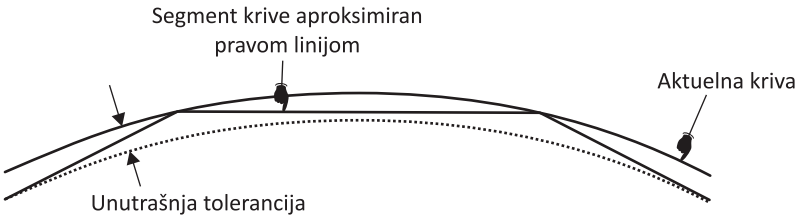
Slika 5.4. *Kontrola kretanja od tačke do tačke*

Sistemi kretanja po kontinualnim putanjama su sistemi kontrole kretanja koji su u stanju da stalno i istovremenu kontrolišu dve ili više osa. Ovo pruža kontrolu nad relativnom putanjom alata u odnosu na radni deo. U tom slučaju, alat vrši proces, dok se radni sto kreće, što omogućava sistemu da stvori ugaone površine, dvodimenzionalne krive ili trodimenzionalne konture na radnom delu. Ovaj režim kontrole je potreban u mnogim operacijama glodanja i struganja. Glodanje jednostavnog dvodimenzionalnog profila je prikazano na slici 5.5, u cilju ilustracije kontinualne kontrole putanje. Kada se kontrola kontinulne putanje koristi da se alat kreće paralelno jednoj od glavnih osa radnog stola mašine alatke, onda se to naziva NC ravno rezanje. Kada se kontrola kontinualne putanje koristi za istovremenu kontrolu dve ili više osa u operacijama obrade, onda se koristi termin oblikovanje.



Slika 5.5. *Kontrola kretanja po kontinualnoj putanji*

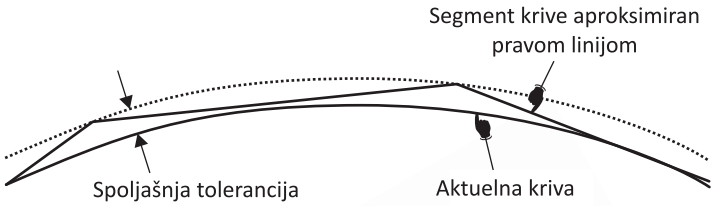
Metode interpolacija. Jedan od važnih aspekata oblikovanja je interpolacija. Putanje koje su neophodne za oblikovanje putem NC sistema i koje je potrebno generisati, često se sastoje od kružnog luka i drugih glatkih nelinearnih oblika. Neki od ovih oblika mogu se matematički definisati relativno jednostavnim geometrijskim formulama (na primer, jednačina za krug $x^2+y^2=R^2$, gde je R poluprečnik kruga i centar kruga je u koordinatnom početku), dok drugi ne mogu da se matematički definišu, osim aproksimacijama.



Slika 5.6. *Tolerancija je definisana jedino na unutrašnjem delu nominalne krive linije*

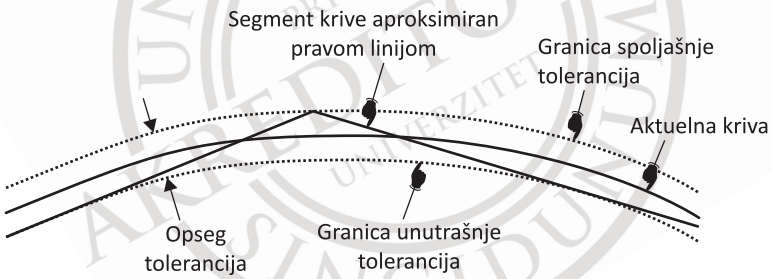
U svakom slučaju, osnovni problem u stvaranju ovih oblika koristići NC opremu je taj da su ti oblici kontinualni, dok je NC digitalna. Da bi se smanjilo isecanje kružne putanje,

krug mora da bude podeljen na niz pravolinijskih segmenata koji su bliski krivoj liniji. Maksimalna greška između nominalne (željene) površine i stvarne (mašinski izvedene) površine može biti kontrolisana od strane dužine pojedinačnih segmenata linije, kao što je objašnjeno na slikama 5.6, 5.7 i 5.8.



Slika 5.7. *Tolerancija je definisana jedino na spoljašnjem delu nominalne krive linije*

Ako programer mora da definiše krajnje tačke za svaki od segmenata linije, zadatak programiranja će biti izuzetno naporan i pun grešaka. Takođe, program dela će biti izuzetno dug, zbog velikog broja tačaka. Da bi olakšao ovaj pristup, rutine interpolacija su razvijene za izračunavanje srednjih tačaka, koje će alat da prati i da generiše određenu matematički definisanu ili aproksimiranu putanju.



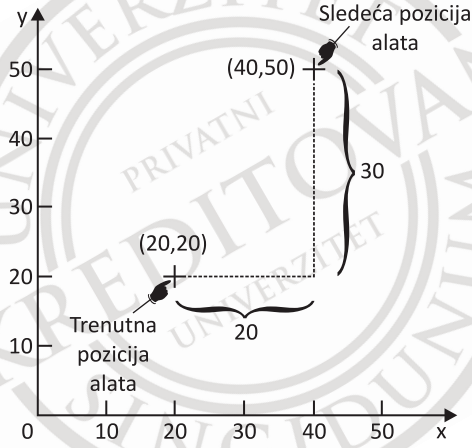
Slika 5.8. *Tolerancija je definisana na oba dela (i na unutrašnjem i na spoljašnjem) nominalne krive linije*

Određeni broj metoda interpolacije je u stanju da se bavi različitim problemima u stvaranju glatke kontinualne putanje prilikom oblikovanja. To su

- linearna interpolacija (prava linija između dve tačke u prostoru),
- kružna interpolacija (kružni luk definisan pomoću početne i krajnje tačke i tačke centra ili poluprečnikom, kao i pravcem rezanja),
- spiralna interpolacija (kružna interpolacija u jednoj ravni i linearno kretanje duž treće ose),
- parabolična interpolacija (proizvoljne krive linije korišćenjem jednačina drugog reda), i
- kubna interpolacija (proizvoljne krive linije korišćenjem jednačina trećeg reda).

Svaka od ovih procedura dozvoljava programeru da generiše mašinske instrukcije za linearne ili krivolinijske putanje, koriseći relativno mali broj ulaznih parametara. Moduli interpolacija unutar MCU izvršavaju izračunavanja i usmeravaju alat duž putanje. U CNC sistemu interpolator je, generalno govoreći, softver. Linearni i kružni interpolatori su gotovo uvek uključeni u savremene CNC sisteme, a i spiralna interpolacija je česta opcija. Parabolična i kubna interpolacija su manje uobičajene – one su samo potrebne radionicama koje moraju da proizvode složene površinske konture.

Apsolutno u odnosu na relativno, tj. inkrementalno pozicioniranje. Drugi aspekt kontrole kretanja vodi računa o tome da li su definisane pozicije u odnosu na koordinatni početak sistema, ili u odnosu na prethodnu lokaciju alata. Dva slučaja su "u igri", i to: apsolutno pozicioniranje i relativno (inkrementalno) pozicioniranje. U apsolutnom pozicioniranje, lokacije radnog alata su uvek definisane u odnosu na koordinantni početak sistema osa. U relativnom pozicioniranju, sledeći položaj radnog alata je definisan u odnosu na prethodnu lokaciju. Razlika je ilustrovana na slici 5.9.



Slika 5.9. *Odnos apsolutnog i relativnog pozicioniranja*

Radna glava alata se trenutno nalazi u tački $(20, 20)$ i trebalo bi da se pomeri u tačku $(40, 50)$. U apsolutnom pozicioniranju pomeranje je definisano kao $\mathrm{x} = 40$ i $\mathrm{y} = 50$, a pri relativnom (inkrementalnom) pozicioniranju pomeranje je definisano kao $\mathrm{x} = 20$ i $\mathrm{y} = 30$.

5.2. Računarska numerička kontrola

Od uvođenja NC u upotrebu 1952. godine došlo je do dramatičnog pomaka u digitalnoj računarskoj tehnologiji. Fizičke veličine i cene digitalnih računara su znatno smanjeni, a u isto vreme su im mogućnosti znatno povećane. Bilo je logično da proizvođači NC opreme ugrade napretke računarske tehnologije u svoj proizvod, startujući sa velikim mejnfrejm računarima 1960-ih, zatim miniračunarima u 1970-im i mikroračunarima u 1980-im. Danas, NC znači *Computer Numerical Control*. CNC je definisana kao NC sistem čija je MCU bazirana na mikroračunaru, a ne na kablovski povezanim kontrolerom. Najnoviji kontroleri računara za CNC imaju veoma brze procesore, veliku memoriju, *flash* memoriju

i bus arhitekturu. Neki kontroleri imaju mogućnost da kontrolišu više mašina u režimu DNC (*Direct Numerical Control*).

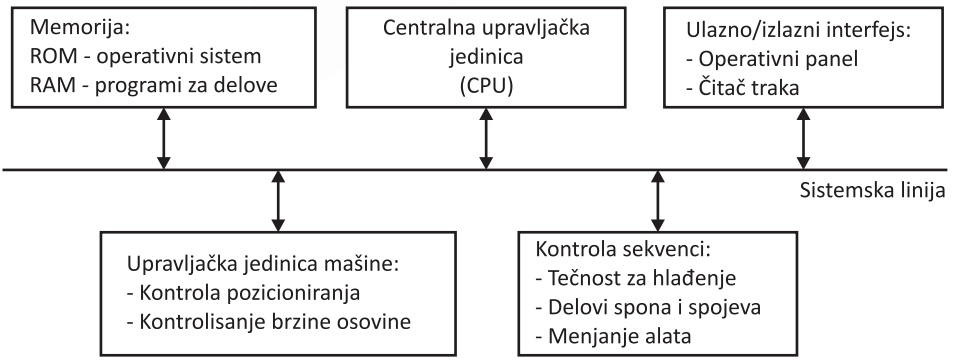
5.2.1. Karakteristike CNC-a

Računarski NC sistemi uključuju dodatne mogućnosti izvan onoga što je izvodljivo sa NC i standardnim kablom. Ove funkcije, od kojih su mnoge standardne na većini CNC upravljačkih jedinica mašine (UJM), obuhvataju sledeće:

- može da se smesti više programa za izradu delova;
- različite forme ulaznih programa;
- program može da se uređuje (edituje) na alatu mašine;
- fiksni radni ciklusi i programiranje potprograma;
- interpolacije;
- podešavanje karakteristika po pitanju pozicioniranja;
- podešavanje veličine rezanja i kompenzacije;
- proračun ubrzavanja i/ili usporavanja procesa;
- komunikacioni interfejsi; i
- dijagnostika.

5.2.2. MCU za CNC

MCU ili UJM je deo hardvera po kome se razlikuje CNC od klasičnog NC. Opšta konfiguracija MCU-a u CNC sistemu prikazana je na slici 5.10. MCU se sastoji od sledećih komponenti i podsistema: (1) centralna procesorska jedinica – CPU, (2) memorija, (3) I/O interfejs, (4) kontrola za ose alata i brzinu vretena, i (5) redosled kontrola za ostale funkcije mašine alatke. Ovi podsistemi su povezani pomoću sistemskih linija, kojima se vrši razmena podataka i signala između komponenti mreže.



Slika 5.10. *Konfiguracija upravljačke jedinice mašine*

Centralna procesorska jedinica. CPU je mozak MCU-a. Ona upravlja ostalim komponentama u MCU zasnovanim na softveru koji se nalazi u glavnoj memoriji. CPU se može podeliti na tri dela: (1) sekcija kontrole, (2)aritmetičko-logička jedinica i (3) direktan pristup memoriji. Sekcija kontrole preuzima komande i podatke iz memorije i generiše signale za aktiviranje drugih komponenti u MCU. Aritmetičko-logička jedinica (ALU) sastoji se od kola za obavljanje raznih kalkulacija (sabiranje, oduzimanje, množenje), brojanje i logičke funkcije zahtevaju softver koji je pohranjen u memoriji. Direktan pristup memoriji obezbeđuje privremeno skladištenje podataka koje obrađuje CPU. Povezan je sa glavnom memorijom putem sistemske magistrale podataka.

Memorija. Neposredni pristup memoriji u CPU nije namenjen za skladištenje softvera za CNC. Mnogo veći skladišni kapacitet je neophodan za razne programe i podatke koji su potrebni za upravljanje CNC sistemom. Kao i većina drugih računarskih sistema, CNC memorija se može podeliti u dve kategorije: (1) glavna memorija i (2) sekundarna memorija. Glavna memorija (takođe poznata kao primarno skladištenje) se sastoji od ROM (*read-only memory*) i RAM (*random access memory*) uređaja. Operativni sistem i programi za interfejs mašine uglavnom se nalaze u ROM-u. Ovi programi su obično instalirani od strane proizvođača MCU-a. Programi za numeričku kontrolu delova se čuvaju u RAM uređajima. Trenutni program u RAM memoriji može se izbrisati i zameniti novim programima kako se radna mesta menjaju.

Uređaji sekundarne memorije velikog kapaciteta (takođe se nazivaju pomoćno ili sekundarno skladištenje) se koriste za skladištenje velikih programa i datoteka sa podacima, koji su prebačeni u glavnu memoriju po potrebi. Među sekundarne memorijske uređaje spadaju čvrsti diskovi i prenosni uređaji. Čvrsti diskovi su uređaji velikog kapaciteta za skladištenje koji su stalno instalirani u upravljačkim jedinicama CNC mašina. CNC sekundarna memorija se koristi za skladištenje programa za deo, makroa i drugih softvera.

Ulazno/izlazni interfejs. I/O interfejs omogućava komunikaciju između različitih komponenti CNC sistema, drugih računarskih sistema i operatora mašine.

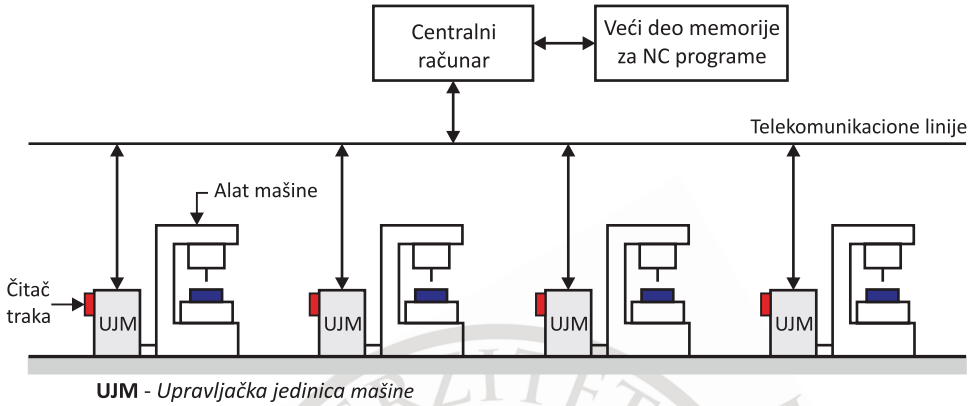
Kontrola za ose alata i brzinu vretena. To su hardverske komponente koje kontrolišu položaj i brzinu duž svake ose mašine, kao i rotacionu brzina vretena mašine alatke.

Sekvenca kontrole za ostale funkcije mašine alatke. Pored kontrole položaja radnog stola, dubine i brzine rezanja i obrtaja, nekoliko dodatnih funkcija je ostvareno pod kontrolom programa dela. Ove pomoćne funkcije su uglavnom za binarne radnje uključivanja i/ili isključivanja, blokade i diskretne numeričke podatke. Da bi se izbeglo preopterećenje procesora, programabilni logički kontroler (PLC) se ponekad koristi za upravljanje I/O interfejsom za ove pomoćne funkcije.

5.3. Distribuirana numerička kontrola

Prvi pokušaj da se koristi digitalni računar za vezu sa NC mašinom alatkom nazvan je direktna numerička kontrola (DNC – *Direct Numerical Control*). To je bilo u kasnim 1960-im, pre pojave CNC. Kao što je prvobitno bilo namenjeno, DNC je uključila kontrolu nad određenim brojem alatnih mašina sa jednim (*mainframe*) računarom kroz direktne

veze i u realnom vremenu. Umesto korišćenja čitača bušenih traka za unos programa dela u MCU, program se prenosio u MCU direktno sa računara, jedan po jedan blok instrukcija.



Slika 5.11. *Generalna konfiguracija DNC sistema*

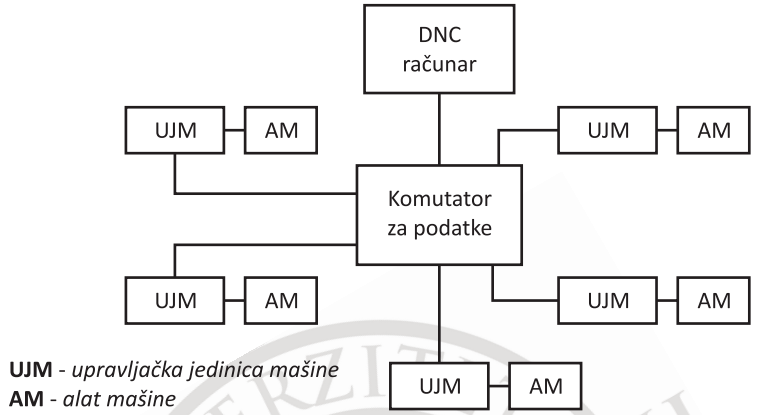
Opšta konfiguracije DNC sistema prikazana je na slici 5.11. Sistem se sastojao od četiri komponente: (1) centralni računar, (2) najveći deo memorije za programe, (3) skup kontrolisanih mašina i (4) telekomunikacione linije koje povezuju mašine sa centralnim računarom. Tokom operacije, računar poziva željeni program za deo iz memorije i šalje ga (jedan po jedan blok) do određenog alata mašine. Ova procedura se ponavlja za sve alatne mašine pod direktnom kontrolom računara. Za jedan od komercijalno dostupnih DNC sistema, tokom 1970-tih, se tvrdilo da je bio u stanju da kontroliše do 256 mašina.

Kako je broj instalacija NC mašina rastao tokom l970-ih i 1980-ih, pojavila se nova DNC forma, pod nazivom distribuirana numerička kontrola (DNC – *Distributed Numerical Control*). Konfiguracija novog DNC sistema je veoma slična onom sistemu prikazanom na slici 5.11, osim što je centralni računar povezan sa MCU-ima, koji su i sami računari. Ovo omogućava da se pošalje kompletan program dela, a ne jedan po jedan blok, alatnoj mašini. Ovaj sistem, takođe, omogućava lakše i jeftinije instalacije celokupnog sistema, jer pojedine CNC mašine mogu da se stave "u službu", a distribuirana NC može da se doda kasnije. Novi DNC sistem dozvoljava dvosmernu komunikaciju podataka između radionice i centralnog računara, što je bila jedna od važnih funkcija uključenih u starom DNC sistemu. Ipak, poboljšanja u uređajima za prikupljanje podataka, kao i napredak u računarskim i komunikacionim tehnologijama, proširili su domet i fleksibilnost informacija koje se mogu prikupljati i distribuirati.

Distribuirani NC sistemi mogu da imaju različite fizičke konfiguracije, što zavisi od broja uključenih alatnih mašina, od kompleksnosti posla, bezbednosnih uslova i dostupne opreme. Postoji nekoliko načina za konfigurisanje DNC sistema. Na slici 5.12 je prikazan DNC sistem kroz (preko) komunikacionu(e) mrežu(e).

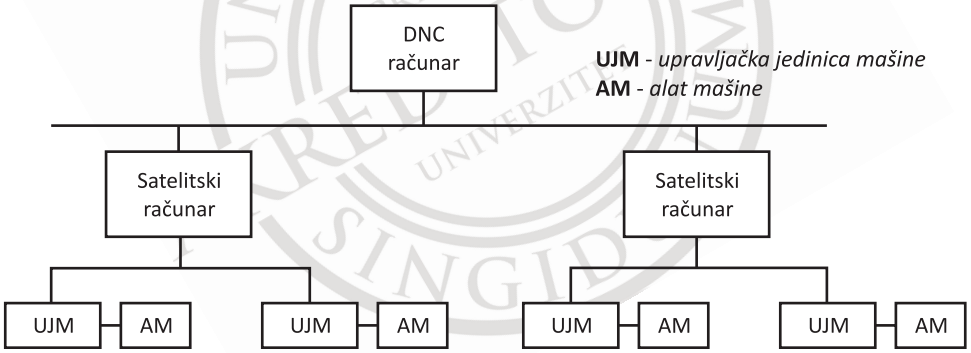
Komunikaciona mreža je najjednostavniji DNC sistem za konfigurisanje. Koristi se komutator za podatke da se napravi veza centralnog računara do datih CNC mašina, kako bi se preuzeli programi za delove ili ažurirali podaci. Prenos programa za MCU se postiže kroz RS-232-C konekciju. Praktično svi komercijalni MCU-ovi uključuju RS-232-C ili kom-

patibilne uređaje kao standardnu opremu. Broj mašina u DNC sistemu se može povećati korišćenjem serijske veze od strane RS-232-C multipleksera.



Slika 5.12. *Konfiguracija DNC sistema unutar komunikacione mreže*

Lokalna mreža (LAN) se koristi za DNC od 1980-ih. Različite strukture mreže se koriste u sistemima DNC, među kojima je centralizovana struktura ilustrovana na slici 5.13.



Slika 5.13. *Konfiguracija DNC sistema unutar lokalne mreže*

U tom aranžmanu, računarski sistem je organizovan kao hijerarhija, sa centralnim (domaćin) računarom koji koordinira nekoliko satelitskih računara, gde je svaki odgovoran za određeni broj CNC mašina. Alternativne LAN strukture su moguće, svaka sa svojim relativnim prednostima i nedostacima. Lokalne računarske mreže u različitim sektorima i odeljenjima fabrike su često povezane u fabričke ili korporacijske mreže.

5.4. Programiranje numerički kontrolisane izrade delova

NC programiranje dela se sastoji od planiranja i dokumentovanja redosleda obradnih koraka koje treba izvršiti na NC mašini. Programer dela mora da poznaje obrade (ili druge

tehnologije za preradu za koji je dizajnirana NC mašina), kao i geometriju i trigonometriju. Deo dokumentacije sa programom dela uključuje ulazni medij koji se koristi za prenos programskih uputstva za NC mašinu do kontrolne jedinice mašine (MCU). Tradicionalni način unosa podataka kod prvih NC mašina 1950-im je bio pomoću bušene trake. Još uvek se koriste magnetne trake i diskete za NC, zbog mnogo veće gustine podataka.

Programiranje dela se može postići korišćenjem različitih procedura – od "ručne" do visoko automatizovane metode. Metode su (1) "ručno" programiranje dela, (2) programiranje dela uz pomoć računara, (3) programiranje dela pomoću CAD/CAM programa i (4) "ručno" unošenje podataka.

5.4.1. "Ručno" programiranje dela

Kod "ručnog" programiranja dela, programer priprema NC kôd pomoću mašinskog jezika niskog nivoa. Kodni sistem je zasnovan na binarnim brojevima. To kodiranje je na mašinskom jeziku niskog nivoa kako bi upravljačka jedinica mašine to mogla da razume. Kada se koristi jezik višeg nivoa, kao što je APT, tvrđenja se konvertuju u osnovni (bazični) kôd. NC koristi kombinaciju sistema binarnih i decimalnih brojeva, koja se zove binarno decimalni kodni sistem (BCD). U ovoj šemi kodiranja, svaka od deset cifara ($0 \div 9$) u decimalnom sistemu je kodirana kao četvorocifreni binarni broj; binarni i ovi brojevi se dodaju kao sekvence u decimalni brojni sistem. Konverzija deset cifara iz decimalnog sistema u binarne brojeve prikazana je u tabeli 5.1.

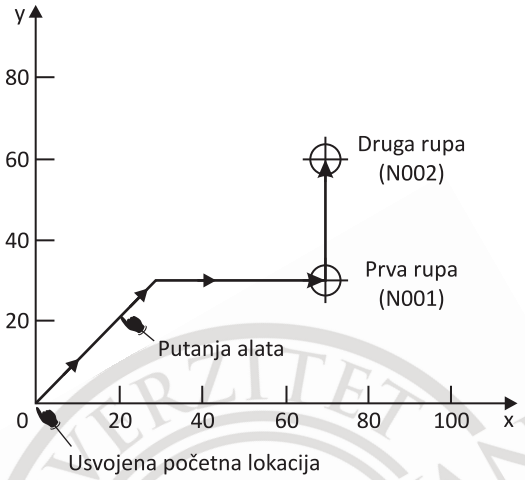
Tabela 5.1. *Konverzija decimalnih brojeva u binarne*

Decimalni	Binarni	Decimalni	Binarni
0	0000	5	0101
1	0001	6	0110
2	0010	7	0111
3	0011	8	1000
4	0100	9	1001

Pored numeričkih vrednosti, kodiranje NC sistema, takođe, mora da obezbedi alfabetske karaktere i druge simbole. Osam binarnih cifara se koristi za predstavljanje svih znakova potrebnih za NC programiranje dela. Nezavisno od niza znakova, formira se reč. Reč navodi detalje o operaciji, kao što su x pozicija, y pozicija, dubina rezanja ili brzina vretena. Nezavisno od zbirke reči, formira se i blok. Blok je jedna kompletna NC instrukcija. On precizira destinaciju odakle se pokreće alat, brzinu i dubinu rezanja i ostale komande koje određuju šta će eksplicitno mašina alatka uraditi. Na primer, blok instrukcija za dvoosnu NC glodalicu će verovatno uključiti x i y koordinate na koje bi radni sto trebalo da bude premešten, vrste preporučenog kretanja (linijska ili kružna interpolacija), brzinu rotacije alata, kao i dubinu rezanja po kojoj bi trebalo da se izvrši operacija.

Organizovanje reči unutar bloka je poznato kao format bloka (takođe se naziva format trake, jer formati su prvobitno razvijeni za bušene trake). Iako je popriličan broj različitih formata bloka razvijen tokom godina, svi moderni kontrolori koriste format adresiranja reči gde se koriste slovni prefiksi kako bi se identifikovala svaka vrsta reči i blanko prostori za razdvajanje reči u bloku. Ovaj format takođe omogućava varijacije u redosledu

reči unutar bloka, kao i izostavljanje reči iz bloka, ako se njihove vrednosti ne menjaju iz prethodnog bloka.



Slika 5.14. *Bušenje dve rupe; dimenzije su u milimeetrima*

Na primer, sledeće dve komande u formatu adresiranja reči definišu obavljanje dve operacije bušenja i to na lokacijama koje su ilustrovane na slici 5.14:

```
N001 G00 X07000 Y03000 M03
N002 Y06000
```

gde je N broj sekvence, a oznake X i Y su prefiksi za x i y ose, respektivno. Oznake G i M zahtevaju elaboraciju. Pomoću oznaka G se nazivaju pripremne reči. One se sastoje od dve numeričke cifre (posle G prefiksa), koji pripremaju MCU za instrukcije i podatke sadržane u bloku. Na primer, G00 priprema kontroler za brzo pomeranje alata sa lokacije jedne tačke na lokaciju druge tačke, i u krajnjoj tački se definiše trenutna komanda. Oznaka M se koristi za specifikaciju ostalih ili pomoćnih funkcija koje su dostupne na mašini alatki. Oznaka M03 u ovom primeru se koristi za pokretanje rotacije vretena. Drugi primeri uključuju zaustavljanje vretena za promenu alata i uključivanje i/ili isključivanje rashladne tečnosti prilikom rezanja. Naravno, alatne mašine morale bi da imaju te funkciju koje se pozivaju.

Reči u bloku sa instrukcijama imaju za cilj da prenesu sve komande i podatke neophodne za mašine alatke kako bi izvršile radnju (potez, kretanje) definisane u bloku. Reči koje su potrebne da definišu operacije za jedan tip mašine alatke tipa mogu da se razlikuju od onih koje su potrebne za drugi tip mašine. Reči u bloku su obično date u sledećem redosledu (mada format adresiranja reči omogućava varijacije u redosledu): broj sekvence (oznaka N); oznaka za pripremu (oznaka G); koordinate (X, Y i Z oznake za linearne ose, A, B i C oznake za ose rotacije); dubina (oznaka F); broj obrtaja vretena (oznaka S); izbor alata (oznaka T); razne komande (oznaka M).

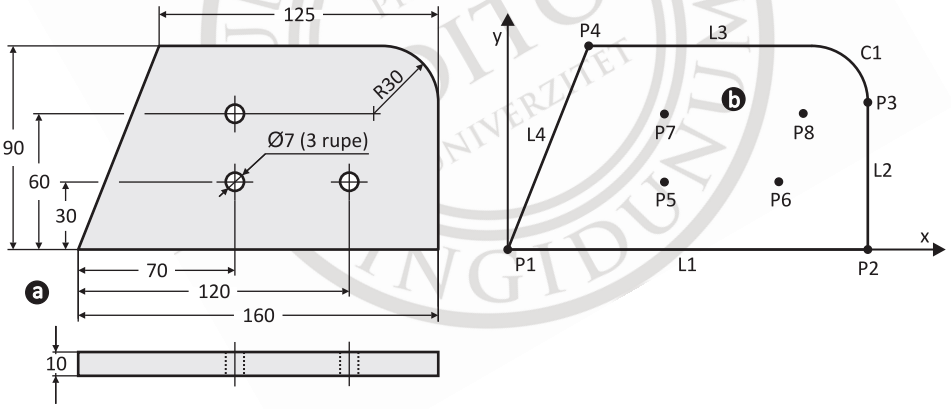
"Ručno" programiranje dela može da se koristi za poslove od tačke do tačke i za poslove po kontinualnim putanjama. Za bušenje je najviše pogodna primena mašinske operacije

od tačke do tačke. Takođe se može koristiti za jednostavne poslove oblikovanja, kao što su struganje i rotiranje, kada su uključene samo dve ose. Međutim, za kompleksne 3D mašinske operacije, postoji prednost u programiranju dela uz pomoć računara.

5.4.2. Programiranje dela uz pomoć računara

"Ručno" programiranje dela može zahtevati dosta vremena, može da bude dosadno, a o mogućim greškama da se i ne govori. Kada treba da se rade delovi složene geometrije ili kada se zahteva više operacija obrade, onda je u ovim slučajevima, čak i za jednostavnije poslove, bolje obaviti programiranje dela uz pomoć računara. Razvijen je poveliki broj NC sistema sa programskim jezicima koji su u stanju da ostvare mnoge proračune koji bi inače programer trebao da uradi. Program se piše na engleskom jeziku, poput izjave koja se kasnije konvertuje u mašinski jezik niskog nivoa. Programiranje delova uz pomoć računara štedi vreme i rezultati su precizniji, a i samo programiranje je efikasnije

Posao programera delova. Unutar programiranja delova uz pomoć računara, mašinske instrukcije su napisane na engleskom jeziku, nalik na izjave koje kasnije prevodi računar na mašinski jezik niskog nivoa, koje se mogu tumačiti i izvršavati od strane kontrolora mašine alatke. Dva glavna zadatka programera su (1) definisanje geometrije dela i (2) određivanje putanje alata i radnih sekvenci.



Slika 5.15. *Primer dela sa geometrijskim elementima*

Bez obzira koliko komplikovan radni deo može da bude, sastavljen je od osnovnih geometrijskih elemenata i matematički definisanih površina. Trebalo bi razmotriti uzorak dela na slici 5.15. Iako je njegov izgled donekle nepravilan, kontura dela se sastoji pravolinijskih segmenata koji se seku i od kružnog luka. Rupe u delu se mogu definisati pomoću x i y koordinata njihovih centara. Skoro sve komponente koje dizajner može da smisli mogu se opisati pomoću tačke, prave, ravni, krugova, valjaka i drugih matematički definisanih površina. Jedan od zadataka programera dela je i da identifikuje i nabroji geometrijske elemente od kojih je izgrađen deo. Svaki element mora da bude definisana u smislu njegovih dimenzija i lokacije u odnosu na druge elemente. Nekoliko primera će biti pokazano ovde kako bi se videlo kako se definišu geometrijski elementi. U tu svrhu koristiće se ilustrovani

uzorak dela, sa oznakama geometrijskih elemenata koje su dodate kao što je prikazano na slici 5.15b. Navedena sintaksa je uzeta iz APT jezika. APT predstavlja skraćenicu od *Automatically Programmed Tooling*.

Počeće se sa najjednostavnijim geometrijskim elementom – tačkom. Najjednostavniji način da se definiše tačka je putem svojih koordinata – na primer,

```
P4 = POINT/35, 90, 0
```

gde je tačka identifikovana simbolom (P4) i njene koordinate date su po redosledu x, y i z u milimetrima ($x = 35\,mm$, $y = 90\,mm$ i $z = 0$). Linija se može definisati sa dve tačke, kao u sledećoj sintaksi:

```
L1 = L1NE/P1,P2
```

gde oznaka L1 označava liniju definisana u sintaksi, a P1 i P2 su dve prethodno definisane tačke. I na kraju, krug se može definisati po lokaciji centra i poluprečniku,

```
C1 = CIRCLE/CENTER, P8, RADIUS, 30
```

gde je C1 novodefinisani krug, sa centrom u prethodno definisanoj tački P8 i sa poluprečnikom (radijusom) od $30\,mm$. APT jezik nudi veliki broj alternativnih načina za definisanje tačke, linije, kruga i ostalih geometrijskih elemenata. Nakon definisanja geometrije dela, programer dela mora definiše putanju alata koju će pratiti rezni alat mašine kako bi obradio deo. Putanja alata se sastoji od niza povezanih pravolinijskih i lučnih segmenata, koristeći prethodno definisane geometrijske elemente za navođenje alata. Na primer, trebalo bi pogledati uzorak dela na slici 5.15 i razmotriti varijantu da će deo da se izradi glodanjem. Upravo je završeno glodanje po površini L1 u suprotnom smeru od kretanja kazaljke na satu, a alat se trenutno nalazi na "raskrsnici" površina L1 i L2, tj. u tački P2. Sledeća APT tvrdnja bi mogla da se iskoristiti da alat zaokrene levo od površine L1 ka površini L2 i da se glodanje obavlja duž L2 površine:

```
GOLFT/L2,TANTO, C1
```

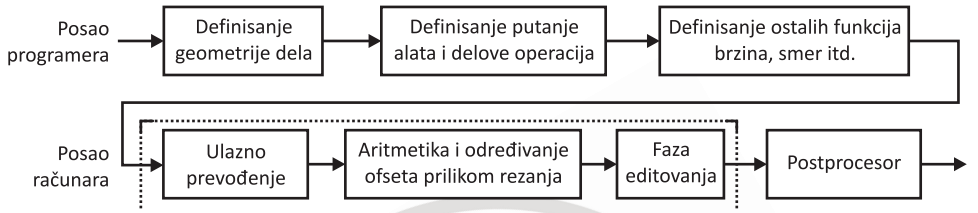
Alatka nastavlja da se kreće po površini L2 sve dok ne novonastala konture ne bude tangenta (TANTO) na krug C1. Ovo je komanda za kontinualnu putanju kretanja. Komande koje definišu kretanje od tačke do tačke imaju tendenciju da su jednostavnije; na primer, sledeća tvrdnja usmerava alatku da bi se otišlo do prethodno definisane tačke P5:

```
GOTO/P5
```

Pored definisanja geometrije dela i specificiranja putanje alata, programer mora da ostvari i razne druge funkcije programiranja, kao što je naziv programa, identifikacija mašine alatke na kojoj će se obavljati posao, navođenje brzine i dubine rezanja ili glodanja, određivanje veličine reznog alata ili alata za glodanje (radijus noža, dužina alata itd.) i navođenje vrednosti tolerancija kod kružnih interpolacija.

Zadaci računara kada se programiraju delovi uz pomoć računara. Uloga računara pri programiranju delova uz pomoć računara se sastoji od sledećih zadataka, koji se obavljaju više ili manje po sledećim sekvencama: (1) ulazno prevođenje, (2) aritmetički proračuni

i određivanje ofseta reznog alata, (3) izmene i (4) naknadna obrada. Prva tri zadatka se sprovode i obavljaju pod nadzorom programskog jezika za procesiranje. Na primer, APT koristi procesor dizajniran za tumačenje i obradu reči, simbola i brojeva napisanih u APT jeziku. Ostali jezici zahtevaju svoje procesore. Četvrti zadatak, naknadna obrada, zahteva poseban računarski program. Redosled i odnos zadataka programera delova i računara je prikazan na slici 5.16.



Slika 5.16. *Primer dela sa geometrijskim elementima*

Programer dela startuje program pomoću APT ili nekog drugog programskog jezika visokog nivoa. Ulazni modul za prevođenje pretvara kodirane instrukcije sadržane u programu na oblik koji računar može da upotrebi, tj. priprema za dalju obradu. U APT-u ulazno prevođenje ostvaruje sledeće zadatke: (1) proverava sintaksu ulaznog koda kako bi se identifikovale greške u formatu, interpunkciji, pravopisu i redosledu tvrdnji, (2) dodeljuje redni broj za svaku APT tvrdnju u programu, (3) konvertuje geometrijske elemente u pogodan oblik za računarsku obradu i (4) generiše fajl pod nazivom PROFIL koji će se koristiti u narednim aritmetičkim proračunima.

Modul za aritmetiku se sastoji od skupa potprograma za obavljanje matematičkih izračunavanja potrebnih da se definišu površina dela i da se generišu putanje alata. Aritmetički proračun se vrši na PROFIL fajlu. Modul za aritmetiku oslobađa programera od raznoraznih kalkulacija i ostavlja mu vremena da se koncentriše na pitanja u vezi sa obradom radnog dela. Izlaz ovog modula je fajl koji se zove CLFILE, što je skraćenica od *cutter location file*. Kao što ime sugeriše, ovaj fajl se sastoji uglavnom od podataka "vezanih" za putanje alata.

Tokom faze uređivanja, računar uređuje CLFILE i generiše novi fajl koji se zove CLDATA. Kada se odštampa, CLDATA daje čitljive podatke o lokacijama i operativnim komandama mašine alatke. Komande alatne mašine mogu da se konvertuju u konkretna uputstva u toku naknadne obrade.

Sistemi NC mašina alatki su različiti. Oni imaju različite funkcije i mogućnosti. Programski jezici visokog nivoa za programiranje dela, kao što je APT, uglavnom nisu namenjeni samo za jedan tip mašine alatke. Oni su dizajnirani da budu opšte namene. Shodno tome, konačni zadatak računara pri programiranju delova uz pomoć računara naknadna obrada, u kojem podaci o lokaciji reznog alata i komande obrade u CLDATA datoteci se konvertuju u kôd niskog nivoa, koji može da tumači NC kontroler određene mašine alatke. Izlaz iz naknadne obrade je deo programa koji se sastoji G kodova, x, y i z koordinata, S, F, M i drugih funkcija u formatu adresiranja reči. Postprocesor je odvojen od programskog jezika za programiranje delova visokog nivoa. Jedinstveni postprocesor mora biti napisan za svaki sistem mašine alatke.

Glava 6

Industrijska robotika

Industrijski robot je programabilna mašina opšte namene sa antropomorfnim karakteristikama. Najznačajnija antropomorfna karakteristika industrijskog robota je njegova mehanička ruka, koja se koristi za obavljanje raznih industrijskih zadatke. Po pitanju drugih ljudskih karakteristika robot je u mogućnosti da odgovori na senzorske ulaze, da komunicira sa drugim mašinama i da donosi odluke. Ove mogućnosti dozvoljavaju robotima da obavljaju različite korisne zadatke. Razvoj tehnologije robotike prati razvoj numeričke kontrole i te dve tehnologije su prilično slične. Obe tehnologije uključuju koordinirane kontrole više osa (ose se zovu zglobovi u robotici), i obe koriste namenski digitalne računare kao kontrolere. Dok su NC mašine dizajnirane (projektovane) da obavljaju određene procese (na primer, mašinske obrade i probijanje rupa u metalnim limovima), roboti su dizajnirani za više različitih zadataka. Tipična primena industrijskih robota u proizvodnim procesima uključuje tačkasto zavarivanje, prenos materijala, utovar, farbanje i sklapanje.

Neke od osobina koje čine industrijske robote komercijalno i tehnološki važnim su navedene ovde:

- Robot može zameniti ljude na opasnim ili neugodnim radnim okruženjima.
- Robot obavlja poslovne cikluse sa dozom doslednosti i ponovljivosti koju ne mogu da postignu ljudi.
- Robot može biti reprogramiran. Kada se završi pokrenuta proizvodnja tekućeg zadatka, robot se može reprogramirati i opremiti potrebnim alatom za obavljanje sasvim drugačijeg zadatka.
- Roboti su pod kontrolom računara i stoga može da se poveže sa drugim računarskim sistemom u cilju postizanja računarski integrisane proizvodnje – CIM.

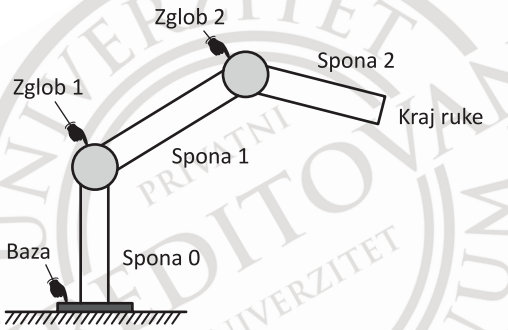
6.1. Anatomija robota i određeni atributi

Manipulator za industrijske robote sastoji se od niza zglobova (spojeva) i spona (veza). Anatomija robota zavisi od vrsta i veličina ovih zglobova i veza i drugih aspekata fizičke izgradnje manipulatora.

6.1.1. Zglobovi i spone

Zglob industrijskih robota je sličan zglobu u ljudskom telu – omogućava relativne pokrete između dva dela tela. Svaki zglob, ili osa kao što se ponekad naziva, pruža robotu tzv. stepene slobode (*Degree-of-Freedom* – DOF) kretanja. U skoro svim slučajevima, samo jedan stepen slobode povezan je sa svakim zglobom. Roboti su često klasifikovani u skladu sa ukupnim brojem stepeni slobode koji poseduju. Sa svakim zglobom postoje veze, ulazna i izlazna veza. Zglobovi su krute komponente manipulatora robota. Cilj zgloba je da obezbedi kontrolisano relativno kretanje između ulazne i izlazne veze.

Većina roboti se montira na stacionarnu bazu na podu. Neka ova baza bude referentna osnova i njena povezanost sa prvim zglobom se označava kao Spona 0. To je ulazna spona za Zglob 1, prvi u seriji zglobova koji se koriste u konstrukciji robota. Izlazna spona zgloba 1 je Spona 1. Spona 1 je ulazna veza za Zglob 2, čija je izlazna veza Spona 2, i tako dalje. Ova numerisana šema relacija zglobova i spona ilustrovana je na slici 6.1.



Slika 6.1. *Robot – kombinacija zglobova i spona*

Skoro svi industrijski roboti imaju mehaničke zglobove koji se mogu svrstati u jednu od pet kategorija: dve kategorije koje pružaju translatorno kretanje i tri kategorije koje pružaju rotaciono kretanje. Ove zajedničke kategorije su ilustrovane na slici 6.2. Pet zajedničkih kategorija su:

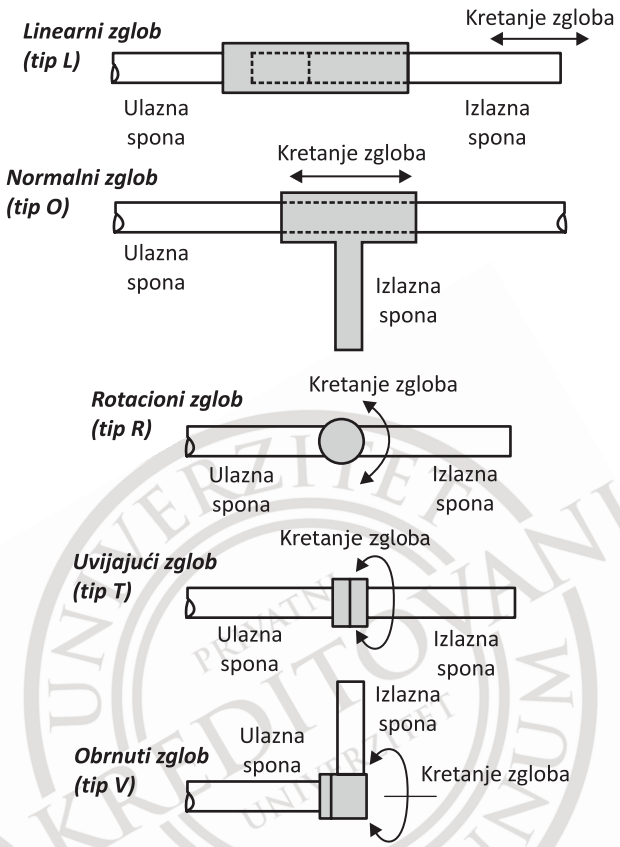
1. Linearni zglob (tip L). Relativna kretanja između ulaznih i izlaznih spona je translatorno klizno kretanje, s tim što su ose spona paralelne.

2. Normalni zglob (tip O). Ovo je, takođe, translatorno klizno kretanje, ali ulazne i izlazne spone su normalne jedna na drugu tokom pomeranja ili kretanja.

3. Rotacioni zglob (tip R). Ova kategorija omogućava relativno rotaciono kretanje, sa osom rotacije koja je normalna na ose ulazne i izlazne spone

4. Uvijajući zglob (tip T). Ova kategorija, takođe, uključuje rotacione kretanje, ali ose rotacija su paralelne sa osama dve spone.

5. Obrnuti zglob (tip V). Oznaka V je "izvučena" iz engleske reči *revolving* koja označava obrtanje ili rotaciju. Kod ove kategorije osa ulazne spone je paralelna osi rotacije zgloba, a osa izlazne spone je normalna na osu rotacije.



Slika 6.2. *Pet zajedničkih kategorija zglobova*

Svaka od ovih zajedničkih kategorija ima opseg u kojima mogu da se kreću. Opseg za translatorni zglob je obično manji od jednog metra, ali za velike pokretne robote, opseg može biti više metara. Tri kategorije obrtnih zglobova mogu da imaju mali opseg od nekoliko stepeni i/ili veliki koji je veličine nekoliko punih okretaja.

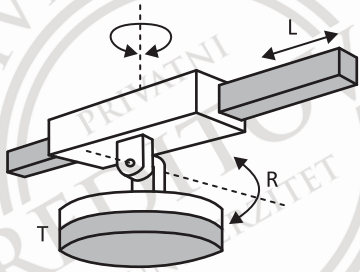
6.1.2. Uobičajene konfiguracije robota

Manipulator robota može da se podeli na dva dela: sklop ruke i tela i sklop zgloba. Obično postoje tri stepena slobode povezanih sa sklopom tela i ruke, i ili dva ili tri stepena slobode u vezi sa zglobom. Na kraju manipulatora zgloba je uređaj koji je u direktnoj vezi sa zadatkom koji mora da obavi robot. Uređaj, koji se zove završni efektor, je obično ili (1) hvataljka za držanje i prihvatanje radnog dela ili (2) alat za obavljanje nekih procesa. Sklop ruke i tela robota se koristi za pozicioniranje završnog efektora, dok se zglob koristi za orijentaciju završnog efektor.

Konfiguracija tela i ruke. S obzirom na pet vrsta zglobova koji su prethodno definisani, $5 \times 5 \times 5 = 125$ različitih kombinacija zglobova koje se mogu koristiti za dizajniranje sklopa

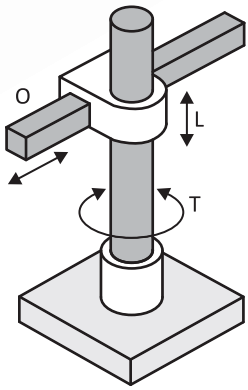
ruke i tela sa tri stepena slobode manipulatora robota. Pored toga, postoje varijacije u dizajnu pojedinih zajedničkih tipova (na primer, fizička veličina zgloba i opseg pokreta). To je donekle izuzetno, dakle, da postoji samo pet osnovnih konfiguracije na raspolaganju za komercijalne industrijske robote.

Robot sferne (polarne) konfiguracije. Kod sferne konfiguracije osa prvog zgloba je usmerena vertikalno naviše dok je osa drugog horizontalna i upravna na osu prvog zgloba. Treći zglob je translatorni. Prema tome, kod sferne konfiguracije vrsta i raspored prva dva zgloba su istovetni kao kod antropomorfne. Kinematska šema sferne konfiguracije je prikazana na slici 6.3. Kao i ranije, drugi i treći zglob omogućavaju pozicioniranje vrha minimalne konfiguracije u bilo kojoj tački vertikalne ravni, dok se rotacijom vertikalne ravni oko ose prvog zgloba vrh robota može pozicionirati bilo gde u okviru radnog prostora. Ova konfiguracija je nazvana sfernom po obliku radnog prostora koji predstavlja deo sfere, a polarnom obzirom da ugao rotacije drugog zgloba i izduženje trećeg zgloba odgovaraju polarnim koordinatama. Treba primetiti da, pošto je treći zglob translatoran, prilaz radnom mestu treba da bude bez prepreka obzirom da ih robot ove konfiguracije ne može zaobići.



Slika 6.3. *Robot sferne (polarne) konfiguracije*

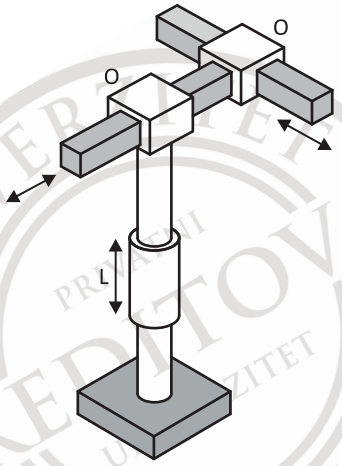
Robot cilindrične konfiguracije. Minimalna konfiguracija robota cilindrične konfiguracije ima jedan rotacioni i dva translatorna zgloba. I kod ove konfiguracije prvi segment predstavlja obrtni stub oko vertikalne ose, pa je prvi zglob rotacioni i postavljen na isti način kao i u prethodnoj konfiguraciji (slika 6.4).



Slika 6.4. *Robot cilindrične konfiguracije*

Drugi i treći zglob su translatorni (linearni). Osa drugog zgloba je vertikalna što znači da se njegovim kretanjem vrši podizanje, odnosno, spuštanje kompletne strukture koja se nalazi dalje od zgloba, prema vrhu robota. Osa trećeg zgloba je horizontalna tako da se njegovim pokretanjem vrši primicanje, odnosno, odmicanje hvataljke u odnosu na vertikalni stub robota. Ova konfiguracija se naziva cilindričnom prema obliku radnog prostora koji predstavlja deo cilindra. Roboti ove konfiguracije imaju veoma malo sprezanje među zglobovima.

Robot Dekartove (pravougle) konfiguracije. Minimalnu konfiguraciju kod ovih robota, kao što se vidi sa slike 6.5, čine tri translatorna zgloba čije su ose paralelne osama Dekartovog pravouglog koordinatnog sistema.

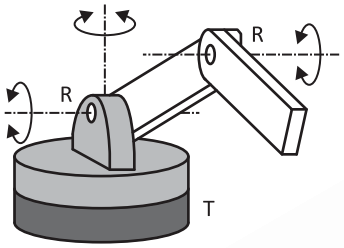


Slika 6.5. *Robot pravougle konfiguracije*

Obzirom na vrstu i raspored zglobova kod robota ove konfiguracije jasan je doprinos kretanja u svakom od zglobova kretanju hvataljke, čime je programiranje, pa čak i ručno vođenje znatno olakšano. Radni prostor predstavlja romboid čije dimenzije zavise od opsega kretanja svakog zgloba. Roboti ove konfiguracije imaju veoma malo sprezanje među zglobovima. Radi smanjenja zauzetog prostora u pogonu roboti ovakve konfiguracije se veoma često postavljaju na postolje kojim se izdižu iznad radne mašine. Normalno je da, u ovakvim slučajevima pristup radnom prostoru radne mašine mora biti slobodan odozgo. Dimenzije postolja mogu biti takve da robot može da opslužuje i po nekoliko mašina.

Robot antropomorfne konfiguracije. Kod većine robotskih konfiguracija, pa i kod ove, prvi stepen slobode (računato od podloge, tj. od baze) je rotacioni i osa prvog zgloba je vertikalna. Ovaj zglob obezbeđuje rotaciju kompletnog robota oko vertikalne ose. Ose drugog i trećeg zgloba su međusobno paralelne, horizontalne i upravne na osu prvog zgloba. Kretanjem drugog i trećeg zgloba se obezbeđuje da se vrh minimalne konfiguracije pozicionira u proizvoljnu tačku u vertikalnoj ravni koja sadrži osu prvog zgloba. Skica kinematske strukture robota antropomorfne konfiguracije je prikazana na slici 6.6. Mehanička struktura robota antropomorfne konfiguracije podseća na strukturu ruke čoveka, pa se stoga za drugi segment minimalne konfiguracije često koristi naziv nadlaktica,

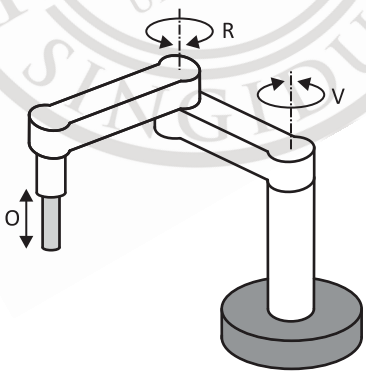
a za treći podlaktica. Osnovna karakteristika robota antropomorfne konfiguracije je da može da pređe iznad prepreke koja mu se nađe na putu.



Slika 6.6. *Robot antropomorfne konfiguracije*

Ako se pogleda kinematska šema ove konfiguracije jasno je da se pokretanjem trećeg zgloba utiče na intenzitet momenta oko ose drugog zgloba čak i u slučaju da se ovaj zglob ne pomera. Ovaj uticaj se naziva sprezanje. To je razlog što se kaže da, ukoliko kretanje jednog zgloba utiče značajno na pogonske momente drugih zglobova, posmatrana konfiguracija ima značajno sprezanje među zglobovima. Roboti antropomorfne konfiguracije su karakteristični po tome što imaju veliko sprezanje medu zglobovima.

Robot SCARA konfiguracije. Roboti SCARA konfiguracije (engleski naziv je *Selective Compliance Assembly Robot Arm*), imaju dva rotaciona i jedan translatorni zglob. Dva međusobno paralelna rotaciona zgloba sa vertikalnim osama obrtanja su postavljeni na stubnu osnovu tako da se oba segmenta kreću u horizontalnoj ravni. Na kraju drugog segmenta se nalazi translatorni zglob čija osa je, takođe, vertikalna, kao što se vidi i na slici 6.7.

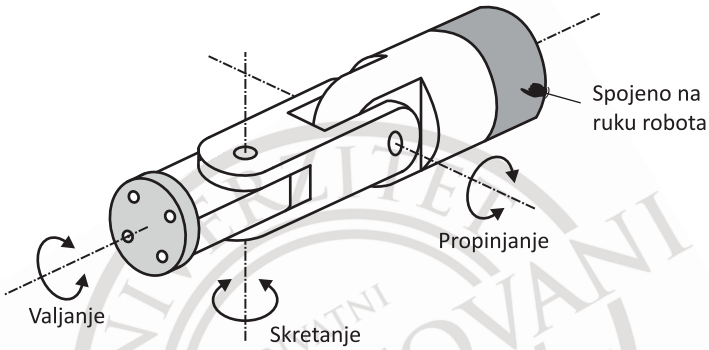


Slika 6.7. *Robot SCARA konfiguracije*

Zglob hvataljke ima najčešće samo jedan stepen slobode i to obrtanje oko vertikalne ose. Prema tome, roboti SCARA konfiguracije uobičajeno imaju samo četiri stepena slobode. Kretanjem rotacionih zglobova se vrši pozicioniranje translatornog zgloba u željenu tačku horizontalne ravni, a zatim se spuštanjem translatornog zgloba dovodi hvataljka do željenog položaja u okviru radnog prostora. Konfiguracija tipa SCARA ima veoma malo sprezanje među zglobovima obzirom da gravitaciono opterećenje u potpunosti prima sama

mehanička struktura rotacionih zglobova. Odlikuju se velikom tačnošću pozicioniranja i brzinom rada, kao i relativno velikom nosivošću. Najveći nedostatak SCARA robota potiče od njegove konstrukcije – postavljen je visoko i zauzima veliki deo prostora iznad prostora u kome se obavljaju radni zadaci, tako da taj prostor mora da bude slobodan.

Zglobna konfiguracija. Zglob robota se koristi za uspostavljanje orijentacije završnog (krajnjeg) efektora. Ova konfiguracija se obično sastoji od dva ili tri stepena slobode. Slika 6.8 pokazuje jednu od mogućih konfiguracija sa tri stepena slobode.



Slika 6.8. *Konfiguracija zgloba*

Tri zgloba su definisana kako sledi: (1) valjanje, koristeći T sponu ostvaruje rotaciju oko ose ruke robota, (2) propinjanje, koji uključuje rotaciju gore-dole, obično koristeći R zglob i (3) skretanje, koji uključuje rotaciju levo-desno, i to postiže putem R zgloba. Zglobna konfiguracija sa dva stepena slobode uključuje samo valjanje i propinjanje (primenom T i R zglobova).

Zajedničko obeležavanje i radni prostor. Slovni simboli koji se koriste za tipove zglobova (L, O, R, T i V) se mogu iskoristiti za definisanje zajedničkog sistema obeležavanja za manipulator robota. U ovom sistemu obeležavanja manipulator je opisan tipovima zglobova koji kreiraju sklop koji se sastoji od ruke i tela, i iza tog opisa sledi opis zglobova koji učestvuju u kreiranju kretanja završnog efektora. Na primer, opis TLR : TR predstavlja manipulator sa pet stepeni slobode čije se telo i ruka sastoji od uvijajućeg zgloba (Zglob $1 = \mathrm{T}$), linearnog zgloba (Zglob $2 = \mathrm{L}$) i rotacionog zgloba (Zglob $3 = \mathrm{R}$). Zglobna konfiguracija koja definiše kretanje završnog efektora se sastoji od dva zgloba, uvijajućeg zgloba (Zglob $4 = \mathrm{T}$) i rotacionog zgloba (Zglob $5 = \mathrm{R}$). Dvotačka odvaja opis sklopa tela i ruke od opisa zglobne konfiguracije.

Radna zapremina. Radna zapremina (radni prostor) manipulatora je kao trodimenzionalni prostor u kojem robot može da manipuliše završnim efektorom. Radni prostor je određen na osnovu broja i vrsta zglobova u manipulatoru (telo-i-ruka i zglobna konfiguracija), opsega raznih zglobova i fizičke veličine spona ili veza. Oblik radnog prostora u velikoj meri zavisi od konfiguracije robota. Polarna konfiguraciju robota teži da ima delimičnu sferu kao radni prostor ili radnu zapreminu, cilindrični robot ima cilindrični radni prostor i robot Dekartove konfiguracije ima radni prostor pravougaonog oblika.

6.1.3. Zajednički sistemi za pokretanje

Zglobovi robota se neposredno kreću koristeći jednu od tri vrste pogonskih sistema: (1) električni, (2) hidraulični ili (3) pneumatski. Električne sisteme koriste elektromotori koji su zglobni aktuatori (na primer, servo motori ili koračni motori, iste vrste motora koji se koriste u sistemima za pozicioniranje NC). Hidraulični i pneumatski sistemi koriste određene uređaje (linearni klipovi i obrtni aktuatori), kako bi se ostvarilo kretanje zgloba.

Pneumatski pogon je obično ograničen na manje robote koji se koriste u jednostavnim aplikacijama za prenos materijala. Električni pogon i hidraulični pogon se više koriste na sofisticiranim industrijskim robotima. Električni pogon je postao željeni pogonski sistem u komercijalno dostupnim robotima, a trebalo bi napomenuti da je tehnologija elektromotora dosta napredovala u poslednjih nekoliko godina. Elektromotor je lakše prilagodljiv za računarsku kontrolu, koja je dominantna tehnologija i koja se koristi danas za kontrolere robota. Električni pogoni robota su relativno tačni u poređenju sa hidraulički pogonjenim robotima. Nasuprot tome, prednosti hidrauličnih pogona obuhvataju veću brzinu i snagu.

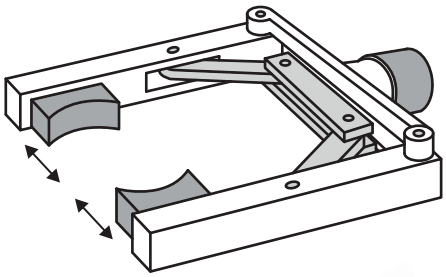
6.2. Završni efektori

U prethodnom delu o konfiguracijama robota, pomenuto je da je završni (krajnji) efektor obično vezan za ručni zglob robota. Završni efektor omogućava robotu da ostvari određeni zadatak. Pošto postoji širok spektar zadataka koje obavljaju industrijski roboti, završni efektor su obično projektovani, prilagođeni i proizvedeni za svaku različitu primenu. Postoje dve vrste završnih efektora – hvataljke i alati.

6.2.1. Hvataljke

Hvataljke su završni (krajnji) efektori koji se koriste za iskorišćenje i manipulaciju predmetima u radnim ciklusima. Objekti su uglavnom radni delovi koji se premeštaju sa jedne lokacije na drugu unutar radne celine ili pogona. Mašine za utovar i istovar spadaju u ovu kategoriju. Zbog raznoraznih oblika delova, veličina i težina, većina hvataljki mora biti namenski projektovana (dizajnirana). Vrste hvataljki koje se koriste kod industrijskih robota uključuju sledeće:

- Mehaničke hvataljke, koje se sastoje od dva ili više prstiju koje može da pokreće kontroler robota u cilju otvaranja i zatvaranja "šake" kako bi se uhvatio radni deo. Slika 6.9 prikazuje hvataljku sa dva prsta.
- Vakuumske hvataljke, koje koriste usisne šoljice kako bi se uhvatio i držao ravan radni deo.
- Magnetizirane hvataljke, koje se za držanje obojenih delova.
- "Lepljive" hvataljke, koje koriste lepljive supstance za držanje fleksibilnih materijala, kao što je tkanina.
- Jednostavna mehaničke hvataljke, kao što su kuke i lopatice.



Slika 6.9. *Mehanička hvataljka*

Mehaničke hvataljke su najčešće korišćene hvataljke. Neke od inovacija i naprednih elemenata u tehnologiju mehaničke hvataljke uključuju:

- Dvostruke hvataljke, koje se sastoje od dva uređaja hvataljki u jednom završnom efektoru mašine za utovar i istovar. Robot sa jednom hvataljkom mora da "dolazi" do proizvodne mašine dva puta, jednom da pokupi završen deo sa mašine i da ga odnese na eksternu lokaciju van nje, a drugi put da pokupi sledeći radni deo i da ga smesti u mašinu. Sa dvostrukom hvataljkom, robot uzima sledeći radni deo dok mašina još uvek obrađuje prethodni deo. Kada se radni ciklus mašine završio, robot dostigne do mašine samo jednom – da ukloni završen deo i da smesti naredni deo. Ovo smanjuje vreme ciklusa po delu.

- Izmenjivi prsti koji se mogu koristiti na jednom mehanizmu hvataljke. Da bi se prilagodili različitim delovima, različiti prsti se ugrađuju na hvataljku.

- Čulne povratne informacije u prstima koje pružaju određene mogućnosti hvataljkama, kao što su (1) detekcija prisustva radnog dela ili (2) primena određene ograničene sile na radni deo tokom hvatanja (za krhke radne delove).

- Više prstiju hvataljke koji poseduju opštu anatomiju ljudske ruke.

- Standardne proizvedene hvataljke koje su komercijalno dostupne, tako smanjujući potrebu za prilagođenim dizajnom hvataljke za svaku odvojenu aplikaciju robota.

6.2.2. Alati

Robot koristi alatke za obavljanje operacije obrade na radnom delu. Robot manipuliše alatom u odnosu na stacionarne ili polako pokretne objekte (na primer, radni deo ili podsklop). Primeri alata koji se koriste kao krajnji efektori robota za obavljanje odgovarajućih aplikacija obrade uključuju pištolj za tačkasto zavarivanje, alat za zavarivanje, pištolj za farbanje; rotirajuće burgije za bušenje, glodanje, brušenje i slične operacije; alatku za sklapanje (na primer, automatski odvijač); alat za grejanje; kutlača (za livenje metala) i rezni alat mlazom vode. U svakom slučaju, robot ne mora samo da kontroliše relativni položaj alata u odnosu na radni deo kao funkcije vremena, nego mora da kontroliše i rad alata. Za ovaj slučaj robot mora biti u stanju da prenosi kontrolne signale do alata za pokretanje, zaustavljanje i za regulisanje drugačijih postupaka.

U nekim primenama, robot može koristiti više alata u toku radnog ciklusa. Na primer, nekoliko bušenja mora biti primenjeno na radni deo. Tako, robot mora da ima sredstva za brze promene alata. U ovom slučaju završni efektor mora da bude u stanju da vrši brze promene držača alata kako bi se alati, koji se koriste u radnom ciklusu, menjali tempom kojim je predviđeno.

6.3. Senzori u robotici

Ovde će se obratiti pažnja na senzore kako se oni primenjuju u robotici. Senzori koji se koriste u industrijskoj robotici mogu se svrstati u dve kategorije: (1) unutrašnji i (2) eksterni. Interni senzori su komponente robota i koriste se za kontrolu pozicije i brzine raznih zglobova robota. Ovi senzori kreiraju povratne kontrolne petlje sa kontrolerima robota. Tipični senzori koji se koriste za kontrolu položaja robotske ruke su potenciometri i optički enkoderi. Tahometri različitih vrsta se koriste za kontrolu brzina robotske ruke.

Spoljni senzori su izvan robota i koriste se za koordinaciju robotskih operacija sa drugom opremom u pogonu. U mnogim slučajevima, ovi eksterni senzori su relativno jednostavni uređaji, kao što je ograničavajući prekidač koji utvrđuje da li je deo pozicioniran ispravno ili da li jedan deo spreman da se podigne na transporter. Druge situacije zahtevaju senzore naprednijih tehnologija, uključujući i sledeće:

- Dodirni senzori. Ovi se koriste da bi se utvrdilo da li je uspostavljen kontakt između senzora i još jednog objekta. Dodirni senzori se mogu podeliti u dve vrste: (1) senzori dodira i (2) senzori snage. Senzori dodira pokazuju da li je postignut jednostavan kontakt sa predmetom. Senzori sile pokazuju veličinu sila sa predmetom. To može biti korisno u primeni sa hvataljkom u cilju merenja i kontrole sila koja se primenjuje na delikatan objekat.

- Senzori blizine. Ovi pokazuje kada je objekat blizu senzora. Kada se ovaj tip senzora koristi da ukaže na stvarne udaljenosti objekta, onda se naziva senzor opsega.

- Optički senzori. Foto ćelije i fotometrijski uređaji mogu se koristiti za otkrivanje prisustva ili odsustva predmeta i često se koriste za detekciju blizine.

- Mašinski vid. Mašinski vid se koristi u robotici za inspekciju, za identifikaciju delova, uputstva i druge stvari. Poboljšanja u programiranju vizije vođenih robotskih sistema su napravila implementacije ove tehnologije lakšim i bržim.

- Drugi senzori. Razne kategorije obuhvataju ostale vrste senzora koji bi se koristili u robotici, kao što su uređaji za merenje temperature, pritiska tečnosti, protoka tečnosti, električnog napona, struje i raznih drugih fizičkih karakteristika.

Glava 7

Kontrola upotrebom PLC-a i PC-a

Numerička kontrola i industrijska robotika se prvenstveno bave kontrolom kretanja, zbog toga što primena alatnih mašina i robota podrazumeva kretanje reznog alata ili završnog efektora, respektivno. U ovom poglavlju je obezbeđena kompletnija diskusija oko diskretne kontrole, i biće razjašnjena dva glavna industrijska kontrolera za implementaciju diskretne kontrole: (1) programabilni logički kontroleri (PLC) i (2) personalni računari (PC).

7.1. Proces diskretne kontrole

Diskretni sistemi za kontrolu procesa "rade" sa parametrima i promenljivama koji su diskretni i čije se vrednosti menjaju u diskretnim vremenskom trenucima. Parametri i varijable su obično binarni – oni mogu da imaju jednu od dve moguće vrednosti – 1 ili 0. Vrednosti znače ON ili OFF, tačno ili netačno, objekat prisutan ili nije prisutan, vrednost visokog napona ili vrednost niskog napona i tako dalje, zavisno od primene. Binarne promenljive u diskretnim procesima kontrole su povezane sa ulaznim signalima kontrolera i izlaznim signalima sa kontrolera. Ulazni signali se obično generišu od strane binarnih senzora, kao što su granični prekidači ili fotosenzori koji su povezani sa procesom. Izlazni signali su generisani od strane kontrolora kako bi proces radio i odgovarao na ulazne signale i granične funkcije. Ovi izlazni signali uključuju i isključuju prekidače, motore, ventile, aktuatore i druge binarne aktuatore vezane za proces. U tabeli 7.1 prikazana je lista binarnih senzora i aktuatora, uz tumačenje pratećih vrednosti 0 i/ili 1. Svrha kontrolera je da koordinira razne akcije fizičkog sistema.

Tabela 7.1 *Binarni senzori i aktuatori koji se koriste kod diskretne kontrole procesa*

Senzor	1/0 interpretacija	Aktuator	1/0 interpretacija
Granični prekidač	Kontakt/Nema kontakt	Motor	On/Off
Fotodetektor	On/Off	Relej	Kontakt/Nema kontakt
Prekidač	On/Off	Svetlo	On/Off
Tajmer	On/Off	Ventil	Otvoren/Zatvoren
Relej	Kontakt/Nema kontakt	Kvačilo	Spojeno/Nije spojeno
Sklopka	Kontak/Nema kontakt	Solenoid	Pobuđen/Nije pobuđen

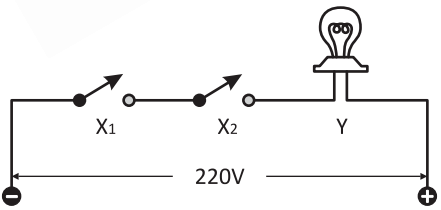
Diskretni procesi kontrole mogu se podeliti u dve kategorije: (1) logička kontrola, koja se bavi događajima koji su posledica promene u sistemu, i (2) redosled, koji se bavi vremenski vođenim promenama u sistemu. Oba se pominju kao prekidački sistemi u smislu da uključuju (ON) ili isključuju (OFF) svoje izlazne vrednosti kao odgovor na promene od strane nekog događaja ili vremenskog sleda.

7.1.1. Logička kontrola

Logički sistem kontrole, takođe se naziva kombinaciona logička kontrola, je prekidački sistem čiji je izlaz u bilo kom trenutku isključivo određen vrednošću trenutnog ulaza. Logički sistem kontrole nema memoriju i ne uzima u obzir bilo koje prethodne vrednosti ulaznih signala u određivanju izlaznih signala. Treba napomenuti da ne postoji bilo kakva radna karakteristika koja može direktno da se izvršava kao vremenska funkcija.

Sledi primer iz robotike za ilustraciju logičke kontrole. Na primer, reč je snabdevanju mašine gde je robot programiran da pokupi sirovi radni deo sa poznate lokacije na pokretnoj traci i da ga stavi u presu. Tri uslova moraju biti ispunjena da bi se pokrenuo ciklus snabdevanja ili "utovara". Prvo, sirovi radni deo mora da se nalazi na specificiranoj lokaciji; drugo, presa mora imati završen proces na prethodnom delu, i treće, prethodni deo mora biti uklonjen iz mašine. Prvi uslov može biti indiciran pomoću jednostavnog graničnog prekidača koji verifikuje prisustvo dela na pokretnoj traci, zaustavlja traku i šalje ON do kontrolera robota. Drugi uslov može biti indiciran od strane prese koja šalje ON signal nakon što je završila prethodni ciklus. Treći uslov može biti određen primenom fotodetektora koji verifikuje prisustvo ili odsustvo dela u presi. Kada se završen deo ukloni iz prese, onda se ON signal prenosi do fotoćelije. Sva tri ON signala moraju biti primljena od strane kontrolera robota za pokretanje sledećeg radnog ciklusa. Kada su ovi ulazni signali primljeni od strane kontrolora, ciklus robot za snabdevanje ili utovar se uključuje. U ovom slučaju, nepotrebni su prethodni uslovi ili radna "istorija".

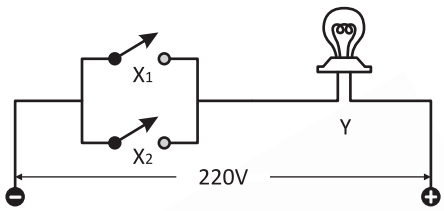
Elementi logičke kontrole. Osnovni elementi logičke kontrole su, takozvane, "logičke kapije" – AND, OR i NOT. U svakom slučaju, logička kapija je dizajnirana da pruži određene izlazne vrednosti na osnovu ulazne(ih) vrednosti. Za obe, ulazne i izlazne, vrednosti može biti jedan od dva nivoa, binarne vrednosti 0 ili 1. Za potrebe industrijske kontrole, definisano je da 0 (nula) znači OFF i 1 (jedinica) znači ON.



Slika 7.1. *Električno kolo ilustruje operaciju logičke AND kapije*

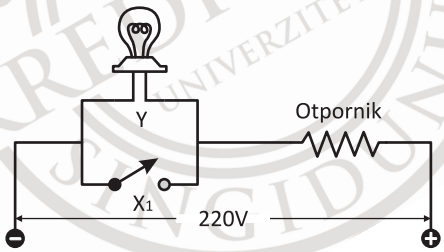
Logička kapija AND daje izlaznu vrednost 1 ako su sve ulazne vrednosti 1, i 0 u drugom slučaju. Slika 7.1 ilustruje rad logičke AND kapije. Ako su oba prekidača X_1 i X_2 (koji predstavljaju ulazne vrednosti), u kolu zatvorena, onda je sijalica Y (koja predstavlja izlaz)

uključena (svetli). Logička kapija AND može da se koristi u automatizovanim proizvodnim sistemima koji ukazuju na to da ima dve (ili više) akcija koje su uspešno završene, kako bi siganilizirala da može da se inicijalizuje sledeći korak u ovom procesu. Sistem u prethodnom primeru kovanja i robota ilustruje primenu AND logičke kapije. Sva tri uslova moraju biti zadovoljena pre nego što krene robotov sledeći korak.



Slika 7.2. *Električno kolo ilustruje operaciju logičke OR kapije*

Logička kapija OR daje izlaznu vrednost 1 ako je bilo koji od ulaza ima vrednost 1, i 0 u drugom slučaju. Slika 7.2 pokazuje kako logička kapija OR radi. U ovom slučaju, dva ulazna signala X_1 i X_2 su raspoređena u paralelno kolo, tako da ako je bilo koji prekidač zatvoren, sijalica Y će biti uključena. Logička kapija OR može da se koristi u proizvodnom sistemu za bezbedno praćenje (monitoring). Na primer, ako se dva senzora koriste za nadgledanje dve različite potencijalne opasne situacije, kada se pojavi nešto neregularno kod bilo koje situacije, odgovarajući senzor emituje pozitivan signal koji upozorava alarmom.



Slika 7.3. *Električno kolo ilustruje operaciju logičke NOT kapije*

I AND i OR kapije mogu da se koristi sa dva ili više ulaza. Logička kapija NOT ima jedan ulaz i ona obrće ulazni signal – ako je ulaz 1, onda je izlaz 0 i ako je ulaz 0, onda je izlaz 1. Slika 7.3 pokazuje kolo u kome je ulazni prekidač X raspoređen paralelno sa izlazom, tako da napon protiče kroz donji deo kada je prekidač zatvoren (tada je $Y = 0$), i kroz gornji deo kada je prekidač otvoren (tada je $Y = 1$). Logička kapija NOT može da se koristi za otvaranje kola po prijemu kontrolnog signala..

Bulova algebra i tabele istinitosti. Logički elementi čine osnovu specijalne algebre koju je razvio oko 1847. godine Džordž Bul (*George Boole*) i koja nosi njegovo ime. Njegova originalna svrha je bila da obezbedi simbolična sredstva za testiranje u cilju određivanja kompleksnih tvrdnji – TRUE (tačna) ili FALSE (netačna). U stvari, Bul ju je nazvao $\mathrm{logička\ algebra}$. Nije prošlo ni sto godina, a Bulova algebra je pokazala da je izuzetno korisna digitalnim logičkim sistemima. Ovde će se opisati neki osnovni elementi.

U Bulovoj algebri funkcija AND se izražava kao

$$Y_{AND} = X_1 \cdot X_2 \tag{7.1}$$

To se zove logički proizvod X_1 i X_2. Kao logička tvrdnja, to znači – Y je istinito (tačno, važi) ako su i X_1 i X_2 istiniti, u drugačijem slučaju Y nije istinito (netačno, ne važi). Tabela istinitosti se često koristi da predstavi rad logičkog sistema. Tabela istinitosti je u stanju da dâ tabelarni prikaz svih kombinacija ulaznih vrednosti do odgovarajuće logičke vrednosti izlaza. Tabela istinitosti za logičku kapiju AND i za četiri moguće kombinacije dve ulazne binarne promenljive prikazana je u tabeli 7.2.

Tabela 7.2 *Tabela istinitosti za logičku kapiju AND*

Ulazi		**Izlaz**
X_1	X_2	Y_{AND}
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

U Bulovoj algebri funkcija OR se izražava kao

$$Y_{OR} = X_1 + X_2 \tag{7.2}$$

To se zove logički zbir X_1 i X_2. U logici, ova tvrdnja saopštava – Y je istinito (tačno) ako je bilo koja vrednost X_1 ili X_2 tačna, u drugačijem slučaju je Y netačno. Izlazi OR funkcije za četiri moguće kombinacije dve ulazne binarne varijable su navedeni u tabeli 7.3.

Tabela 7.3 *Tabela istinitosti za logičku kapiju OR*

Ulazi		**Izlaz**
X_1	X_2	Y_{OR}
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

Funkcija NOT se referiše kao negacija ili inverzna promenljiva. Na to se ukazuje iscrtavanjem linije iznad promenljive (na primer, $\overline{X}_1$). U tabeli 7.4 prikazana je tabela istinitosti, a u Bulovoj algebri funkcija NOT se izražava kao

$$Y_{NOT} = \overline{X}_1 \tag{7.3}$$

Tabela 7.4 *Tabela istinitosti za logičku kapiju NOT*

Ulazi	**Izlaz**
X_1	Y_{NOT}
0	1
1	0

Pored tri osnovna elementa, postoje još dva elementa koji se mogu koristiti u prekidačkim kolima – logičke kapije NAND i NOR. Logička kapija NAND je formirana kombinovanjem logičkih kapija AND i NOT, respektivno, a u tabeli 7.5 levo prikazana je tabela istinitosti za ovaj element.

Tabela 7.5 *Tabela istinitosti za logičke kapije NAND i NOR*

NAND			NOR		
Ulazi		**Izlaz**	**Ulazi**		**Izlaz**
X_1	X_2	Y_{NAND}	X_1	X_2	Y_{NOR}
0	0	1	0	0	1
0	1	1	0	1	0
1	0	1	1	0	0
1	1	0	1	1	0

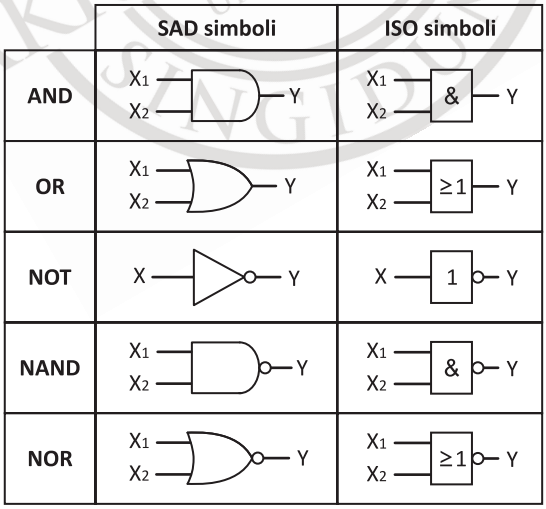
U Bulovoj algebri funkcija NAND se izražava kao

$$Y_{NAND} = \overline{X_1 \cdot X_2} \tag{7.4}$$

Logička kapija NOR je formirana kombinovanjem logičkih kapija OR i NOT, pružajući tabelu istinistosti u visu tabele 7.5 desno. U Bulovoj algebri funkcija NAND se izražava kao

$$Y_{NOR} = \overline{X_1 + X_2} \tag{7.5}$$

Razne tehnike dijagrama su razvijene u cilju predstavljanja logičkih elemenata i njihovih odnosa u datom sistemu logičke kontrole. Dijagram logičke mreže je jedan od najčešćih metoda. Simboli korišćeni u dijagramu logičke mreže ilustrovani su na slici 7.4.



Slika 7.4. *Simboli koji se koriste za logičke kapije*

Postoje određeni zakoni i teoreme Bulove algebre. Citirani su ispod. Ovi zakoni i teoreme često se mogu primeniti kako bi se pojednostavila logička kola i kako bi se smanjio broj

elemenata potrebnih za implementaciju logike, a rezultat bi bio ušteda u vremenu po pitanju i hardvera i po pitanju programiranja.

Komutativni zakon gde važe sledeća pravila:

$$X + Y = Y + X$$
$$X \cdot Y = Y \cdot X$$

Asocijativni zakon gde važe sledeća pravila:

$$X + Y + Z = X + (Y + Z)$$
$$X + Y + Z = (X + Y) + Z$$
$$X \cdot Y \cdot Z = X \cdot (Y \cdot Z)$$
$$X \cdot Y \cdot Z = (X \cdot Y) \cdot Z$$

Distributivni zakon gde važe sledeća pravila:

$$X \cdot Y + X \cdot Z = X \cdot (Y + Z)$$
$$(X + Y) \cdot (Z + W) = X \cdot Z + X \cdot W + Y \cdot Z + Y \cdot W$$

Zakon apsorpcije gde važe sledeća pravila:

$$X \cdot (X + Y) = X + X \cdot Y = X$$

Zakoni de Morgana gde važe sledeća pravila:

$$(\overline{X + Y}) = \overline{X} \cdot \overline{Y}$$
$$(\overline{X \cdot Y}) = \overline{X} + \overline{Y}$$

Teorema o doslednosti gde važe sledeća pravila:

$$X \cdot Y + X \cdot \overline{Y} = X$$
$$(X + Y) \cdot (X + \overline{Y}) = X$$

Teorema o inkluziji gde važe sledeća pravila:

$$X \cdot \overline{X} = 0$$
$$(X + \overline{X} = 1$$

7.2. Programabilni logički kontroleri

Programabilni logički kontroler (PLC) može se definisati kao mikroračunar zasnovan na kontroleru koji koristi uskladištene instrukcije u programabilnoj memoriji u cilju implementacije logike, redosleda, tajminga, brojanja i aritmetičkih funkcija kroz digitalne ili analogne ulazno/izlazne (I/O) module, za kontrolu mašina i procesa. PLC aplikacije se

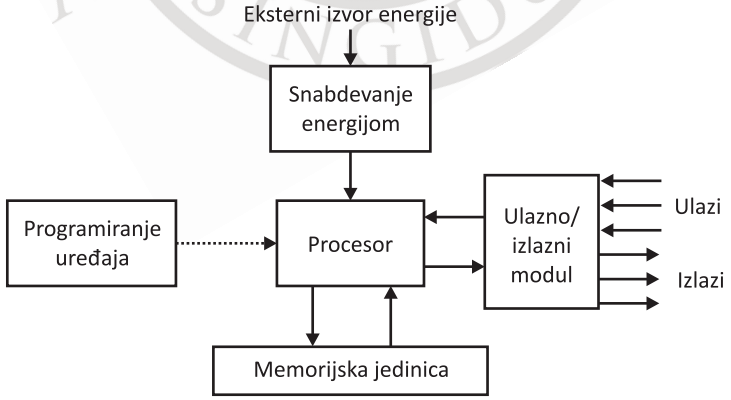
nalaze u pomenute obe industrije, i u procesnoj industriji i u diskretnoj proizvodnji. Primeri primene u procesnoj industriji uključuje hemijske obrade i proizvodnju hrane. PLC su, pre svega u vezi sa diskretnim industrijama za kontrolu pojedinih mašina, linija za transfer, opreme za dostavu materijala i automatizovanih sistema za skladištenje podataka. Pre nego što je PLC uveden oko 1970. godine, teški žičani kontroleri su se sastojali od releja, namotaja, brojača, tajmera i sličnih komponenti koji su korišćeni su za sprovođenje ovog tipa industrijske kontrole. Danas, mnogi stariji delovi opreme se naknadno menjaju i ugrađuju se PLC-ovi kako bi se zamenili originalni teški kontroleri, i na taj način oprema postaje i produktivnija i pouzdanija, nego da je nabavljena nova.

Postoje značajne prednosti upotrebom PLC-a nego konvencionalnih releja, tajmera, brojača i drugi žičanih komponenti za kontrolu. Te prednosti uključuju: (1) programiranje PLC-a je lakše nego ožičenja kontrolnog panela releja; (2) PLC može da se reprogramira, a dok kod konvencionalne kontrole mora da se obavlja novo ožičenje ili da se menja kompletan panel; (3) PLC zauzima mnogo manje prostora nego relejni kontrolni paneli; (4) pouzdanost je veća, a održavanje je jednostavnije; (5) PLC može biti povezan sa računarskim sistemima lakše od releja i (6) PLC može da obavlja više različitih funkcija kontrole nego što to može relej.

U ovom odeljku biće ukratko opisane komponente, programiranje i rad PLC-a. Iako je glavni doprinos u logičkoj i diskretnoj kontroli, mnogi PLC-ovi obavljaju i dodatne funkcije.

7.2.1. Komponente PLC-a

Šematski prikaz PLC-a je predstavljen na slici 7.5. Osnovne komponente PLC-a su sledeće: (1) procesor, (2) memorijska jedinica, (3) napajanje, (4) I/O modul i (5) programiranje uređaja. Ove komponente su smeštene u odgovarajuće kućište namenjeno industrijskom okruženju.



Slika 7.5. *Komponente PLC-a*

Procesor je CPU programabilnih kontrolera. Izvršava razne logičke i sekvencijalne funkcije radeći na ulaznim veličinama PLC da bi se odredili odgovarajući izlazni signali. Procesor se sastoji od jednog ili više mikroprocesora sličnim onima koji se koriste u računarima i drugoj

opremi za procesiranje. Razlika je u tome što imaju operativni sistem koji reaguje u realnom vremenu i programirani su da olakšaju I/O transakcije i izvršavaju logičke funkcije. Pored toga, PLC-ovi su toliko sigurni da CPU i druge elektronske komponente rade bez problema u bučnom okruženju fabrike.

Sa CPU je povezana PLC **memorijska jedinica**, koja sadrži programe logike, redosleda i I/O operacija. Ona, takođe, ima datoteka sa podacima u vezi sa ovim programima, uključujući i I/O bitove o statusu, konstante za brojač i tajmer i vrednosti drugih promenljivih i parametara. Ova memorijska jedinica se naziva i korisnička ili aplikativna memorija, jer njen sadržaj unosi korisnik. Osim toga, procesor sadrži operativni sistem memorije, koji usmerava izvršenje programa kontrole i koordinira I/O operaciju(e). Operativni sistem je ugradio proizvođač PLC-ova i ne može mu se pristupiti i ne može korisnik da ga menja.

Napajanje od $115\,\mathrm{V}$ naizmenične struje se obično koristi za "pogon" PLC-a (neke jedinice rade na $230\,\mathrm{V}$ naizmenične struje). Napajanje pretvara $115\,\mathrm{V}$ naizmenične struje (AC) u jednosmernu struju (DC) napona od $\pm 5\,\mathrm{V}$. Ovi mali naponi se koriste za rad opreme koja može da ima mnogo veći napon i snagu od samog PLC-a. Napajanje često automatski uključuje rezervnu bateriju u slučaju otkaza spoljnog izvora napajanja.

Ulazno/izlazni modul obezbeđuje veze sa industrijskom opremom ili procesima koji treba da budu kontrolisani. Ulazi kontrolera su signali iz graničnih prekidača, tastera, senzora i ostalih on/off uređaja. Izlazi iz kontrolera su on/off signali za rad motora, ventila i drugih uređaja potrebnih za pokretanje procesa. Pored toga, mnogi PLC-ovi su u stanju da prihvate kontinualne signale sa analognih senzora i da generišu signale pogodne za analogne aktuatore. Veličina PLC-a je obično rangirana na osnovu broja svojih I/O terminala (priključaka), kao što je naznačeno u tabeli 7.6.

Tabela 7.6 *Klasifikacija PLC-ova po broju I/O terminala*

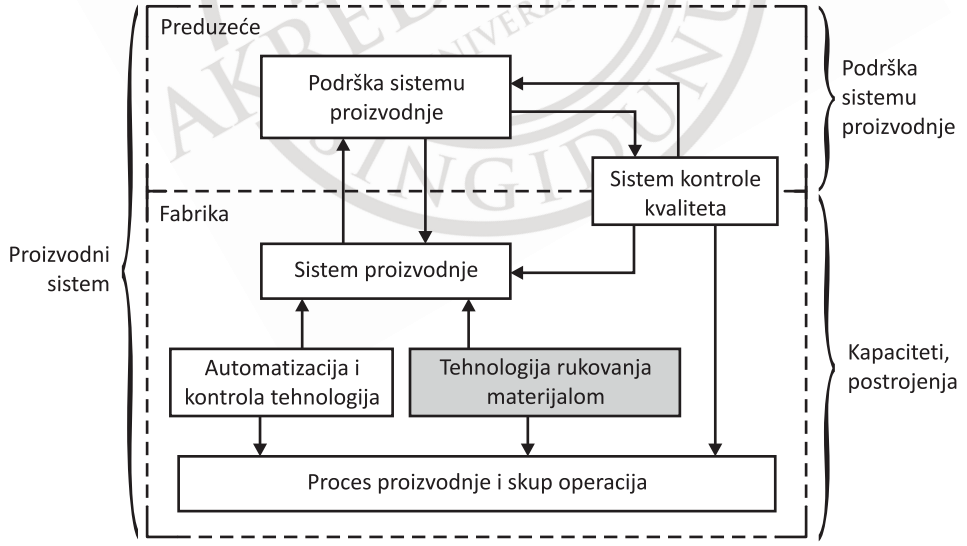
Veličina PLC-ova	Broj I/O terminala
Veliki PLC-ovi	≥ 1024
Srednji PLC-ovi	< 1024
Mali PLC-ovi	< 256
Mikro PLC-ovi	≤ 32
Nano PLC-ovi	≤ 16

PLC se programira pomoću **uređaja za programiranje**. Uređaji za programiranje su obično odvojivi od kućišta PLC-a, tako da mogu da se dele između različitih kontrolera. Različiti proizvođači PLC-ova pružaju različite uređaje, počev od jednostavnih uređaja u obliku priveska, sličnih onima koji se koriste u robotici, do posebnih PLC programabilnih tastatura i monitora. Personalni računari se, takođe, mogu koristiti i za samo programiranje PLC-a. Računar koji se koristi za ovu svrhu ponekad i dalje ostaje priključen na PLC da služi za praćenje procesa ili nadzor, kao i za konvencionalne aplikacije za obradu podataka vezanih za proces.

Glava 8

Fleksibilni automatizovani unutrašnji transport

Manipulacija ili rukovanje materijalima predstavlja pomeranje, skladištenje, zaštitu i kontrolu materijala kroz proces proizvodnje i distribucije. Rukovanje materijalima, predstavljeno na slici 8.1 mora biti izvršeno bezbedno, efikasno, sa nižim troškovima, pravovremeno i kvalitetno (pravi materijal u pravo vreme, u pravoj količini na pravoj lokaciji) kao i bez oštećenja istih. Troškovi rukovanja materijalom bitno učestvuju u ukupnim proizvodnim troškovima. Oko $25 \div 30\%$ od vrednosti proizvodnog rada u SAD. Stepen automatizacije rukovanja materijalima direktno utiče na izmenu ukupnih troškova.



Slika 8.1. *Rukovanje materijalom u proizvodnom sistemu*

Postupak sa materijalima je posebno bitan za industrijske sisteme: kretanje, skladištenje, zaštita i kontrola u materijalnoj proizvodnji i procesima distribucije, potrošnje i deponovanja.

U rukovanje materijalima u velikim proizvodnim sistemima spada: premeštanje, skladištenje, transport saobraćajnicama i komercijalnom infrastrukturom. Logostika velikih proizvodnih sistema doprinosi: pozitivnom poslovanju, kretanju, skladištenju, distribiuciji materijala i proizvoda, dobrom planiranju, kontroli operacija i kvalitetnom zadovoljenju potreba kupca. Jedna od pet osnovnih fizičkih aktivnosti koja mora da se izvrši u proizvodnji jeste unutrašnji transport. Unutrašnji transport je važan aspeki automatizacije. Trošak unutrašnjeg transporta predstavlja značajan udeo u ukupnim troškovima proizvodnje. Procenjuje se da se transportni troškovi kreću do dve trecine ukupnih proizvodnih troškova. Ovaj razlomak varira u zavisnosti od tipa i obima proizvodnje i stepena automalizacije unutrašnjeg transporta. Zbog skladišnih i distribucionih sredstava unutrašnjem transportu pripada porazna većina troškova.

Unutrašnji transport se odvija unutar kompanije. Svrha unutrašnjeg transporta je prevoz:

- unutar ulaznog skladišta,
- od ulaznog skladišta do pogona,
- unutar pogona,
- između pogona,
- od pogona do unutrašnjeg skladišta,
- unutar unutrašnjeg skladišta,
- od unutrašnjeg skladišta do pogona,
- od pogona do izlaznog skladišta,
- unutar izlaznog skladišta,
- od izlaznog skladišta do prevoznika.

8.1. Ciljevi i zadaci oblikovanja unutrašnjeg transporta

Na oblikovanje transportnog sistema unutar fabrike utiču četiri faktora:

- transportovani teret,
- intenzitet transporta,
- relacija transporta,
- zakonski propisi.

Transportovani teret, po pravilu, predstavlja podatak. Izuzetak, na primer, čini vrsta agregatnog stanja tereta, pa se za dalji tok transportovanih jedinica mogu razlikovati:

- čvrsta (rasuto ili komadno stanje),
- tečna, i
- gasovita stanja tereta.

Za tačnu klasifikaciju komadnih tereta moraju se opisati njihove geometrijske karakteristike (npr.: dužina, širina, visina), kao i njihove fizičke i hemijske osobine.

Intenzitet transporta proizilazi iz potrebe tereta koju treba premeštati u količinama po vremenskoj jedinici. Intenzitet transporta zavisi od tipa proizvodnje. On je kod pojedinačne proizvodnje nizak, dok je kod masovne proizvodnje visok.

Transportnu relaciju karakteriše udaljenost između polazne i krajnje tačke transporta tereta koji treba obaviti, zaključno sa razlikama u nivou tih tačaka koji treba savladati.

Neophodno je transportne sisteme optimalno planirati i primeniti. Pri tome treba obratiti pažnju na sledeće ciljeve:

- Optimalno korišćenje:
  - minimalni troškovi transporta,
  - minimalni prazni hodovi,
  - visoka funkcionalnost i iskorišćenje vremena.
- Visok stepen usluge:
  - kratko vreme čekanja,
  - kratko vreme transporta.
- Visoka fleksibilnost:
  - širok asortiman tereta za transport,
  - laka prilagodljivost radnom okruženju.
- Visoka transparentnost:
  - informacije o aktuelnoj situaciji,
  - obračun troškova,
  - utvrđivanje pokazatelja.

Da bi se ovi ciljevi postigli, moraju se savladati zadaci planiranja, upravljanja i sprovođenja:

- Planiranje:
  - dugoročno planiranje transportnih sredstava,
  - razvoj dispozicionih strategija na bazi odgovarajućih transportnih podataka.
- Dispozicija i upravljanje:

  - kratkoročna dispozicija transportnih sredstava uz prisustvo aktuelnih podataka,
  - raspoređivanje i dostavljanje transportnih naloga pojedinim realizatorima transporta,
  - mere u slučaju pojave smetnji u realizaciji.

- Sprovođenje:
  - operativna realizacija transportnih naloga,
  - dostavljanje podataka o ostvarenom na dispozitivni nivo.

Poglavlje se usredsređuje na jedan tip transportnih sistema koji izgleda posebno podesan za automatizaciju u proizvodnji diskretnih proizvoda. Taj tip jesu sistemi automatizovanog vođenog vozila. Ovi sistemi su primenljivi za automatizaciju transportnih situacija sa malim i srednjim obimom, gde su putanje materijala pretežno pojedinačne. U poglavlju se predstavlja kvantitativna metoda za analiziranje ovih sistema. U dodatku na kraju poglavlja nalaze se primeri kvantitativne analize sistema automatizovanog vođenog vozila.

8.1.1. Izbor transportnih sredstava

Transportna sredstva unutrašnjeg transporta mogu biti:

- ručno pokretna (kolica),
- mehanizovana (viljuškari, razne mašine za unutrašnji transport),
- automatizovane (pokretne trake za prevoz u skladištu ili pogonu).

Transportna sredstva unutrašnjeg transporta mogu biti sporohodna i brzohodna, sa dodatkom za manipulaciju materijalom. Ova transportna sredstva vrše funkciju prevoza, skladišnu funkciju i funkciju premeštanja i smeštanja na policu.

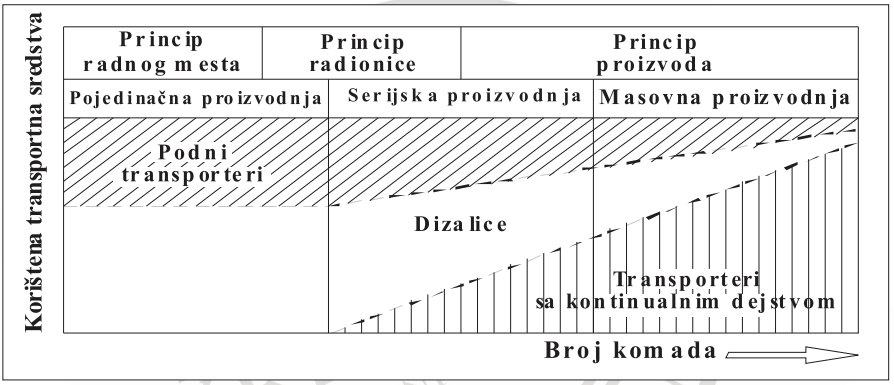
Izbor transportnog sredstva u unutrašnjem transportu je pod uticajem:

- raspoloživosti i kapaciteta sredstava,
- vrste i količine stvari za transport,
- dimenzija, agregatnog stanja, pakovanja i drugih karakteristika,
- veličine i tipa skladišta,
- rasporeda u skladištu,
- brzine prevoza sredstava i moguće brzine,
- rasporeda transportnih puteva, i drugih infrastrukturnih obeležja.

Za prvi grubi izbor vrste transportnih sredstava može se koristiti raspoloživi **princip proizvodnje**. U pojedinačnoj proizvodnji se koriste samo **manipulativna vozila i dizalice**. Sa povećanjem broja komada u serijskoj proizvodnji odgovaraju već transportni sistemi sa neprekidnim dejstvom.

Na osnovu odgovarajućeg grubog izbora, u sledećem koraku planiranja treba vrednovati moguća rešenja i to kako sa tehničkog tako i sa ekonomskog aspekta. **Kriterijumi tehničkog vrednovanja** su, na primer, vrsta transporta, količina transporta/vremenska jedinica, visina dizanja, dimenzije transportnih sredstava, prečnik okretanja, ukupna težina, nosivost transportnih sredstava, savlađivanje uspona, itd.

Najvažniji troškovi koji se uzimaju u obzir su amortizacija (za hardver i softver), kamate, troškovi održavanja, energetski troškovi, kao i troškovi personala.



Slika 8.2. *Šematska podela transportnih sredstava prema vrstama proizvodnje*

8.2. Funkcija unutrašnjeg transporta

Cilj unutrašnjeg transporta u fabrici jeste da premešta sirovine, delove u obradi, gotove proizvode, alate i predmete snabdevanja od jedne lokacije (ćelije) do druge da bi se olakšale globalne operacije proizvodnje. Transport materijala mora da se izvršava bezbedno, efikasno (sa malim troškovima), blagovremeno, precizno (pravi materijali u pravim količinama na pravoj lokaciji) i bez štete na materijalima.

Funkcija unutrašnjeg transporta se takođe odnosi na uskladištenje materijala i upravljanje materijalom.

Funkcija upravljanja materijalom odnosi se na identifikovanje različitih materijala u transportnom sistemu, njihove putanje i planiranje njihovih kretanja. Za većinu fabričkih operacija važno je da poreklo, tekuće mesto i buduće odredište materijala bude poznato. Sistem radioničkog upravljanja u firmi generalno se upotrebljava da bi se implementirala ova funkcija za održavanje preciznosti, potpunosti i tekuće evidencije o svim materijalima u fabrici. To upravljanje se ponekad proširuje posredstvom sistema automatske identifikacije ćija je svrha da identifikuje delove dok se oni kreću ili skladište.

8.2.1. Analiza sistema unutrašnjeg transporta

Planiranje sistema unutrašnjeg transporta mora poceti analizom materijala koji treba da se prenose. U ovom odeljku ne razmatraju se razna svojstva materijala koja utiču na transportni sistem, već se razmatraju neki kvantitativni odnosi i principi koji su zajednički u skoro svim sistemima unutrašnjeg transporta. Ima nekoliko pristupa koji mogu da se upotrebe za predstavljanje problema unutrašnjeg transporta u cilju vizuelizacije i analize. Tabelarne i graličke tehnike dovoljno su korisne za vizuelizovanje prenošenja, a kvantitativnim prilazi mogu da budu korisni za određivanje obima toka materijala, vremena operacija i drugih aspekata izvršenja u unutrašnjem transporta.

Kada se jednoznačno može definisati ćelija za svaki deo i svaku operaciju, onda se može odrediti tabela 8.1.

Tabela 8.1. *Redosled ćelija za izradu delova Dl. D2, D3 i D4 i broj potrebnih isporuka po delovimae*

NAZIV DELA	REDOSLED ĆELIJA	BROJ POTREBNIH ISPORUKA
D1	L→2→S	9
D2	l→3→5	3
D3	L→3 →4 →5	2
D4	l→4→5	6
	$\sum$	20

Jedna od tehnika za prikazivanje informacija o toku materijala jeste karta od-do, ilustrovana u tabelama 8.2 i 8.3. Karta od-do u tabeli 8.2 sadrži informacije koje su dobijene iz tabele 8.1.

Tabela 8.2. *Karta od-do prikazuje broj potrebnih isporuka izmedu različitih mesta (ćelija) u rasporedu*

Od:	Do:				
	1	2	3	4	5
1	0	9	5	6	0
2	0	0	0	0	9
3	0	0	0	2	3
4	0	0	0	0	8
5	0	0	0	0	0

Karta od-do slična je karti kilometraže na putnoj karti. Kao što je prikazano u tabelama, leva vertikalna kolona nabraja početne tačke od kojih se vrše putovanja, a horizontalna vrsta na vrhu karte nabraja tačke odredišta. Karta se organizuje za moguće tokove materijala u oba smera između skupa utovarnih/istovarnih tačaka (ćelija) u rasporedu. Karta od-do sasvim je prilagodljiva po tome što može da se upotrebljava za prikazivanje raznih parametara problema toka materijala. Ovi parametri uključuju broj isporuka

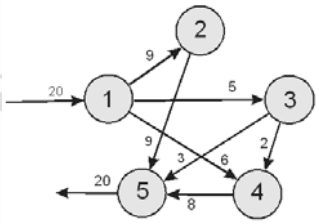
izmedu tačaka-ćelija (tabela 8.2), rastojanja između od-do tačaka-ćelija (tabela 8.3) i obim proizvoda koji protiču između raznih lokacija (ćelija) u rasporedu.

Tabela 8.3. *Karta od-do prikazuje rastojanja između različitih mesta (ćelija) u rasporedu*

Od:	Do:				
	1	2	3	4	5
1	0	60	120	210	NP
2	NP	0	NP	NP	90
3	NP	NP	0	90	180
4	NP	NP	NP	0	90
5	30	NP	NP	NP	0

Rastojanja su prikazana u metrima. "NT" prikazuje koja rastojanja nisu primenljiva u ovom rasporedu. Jedna od tehnika za vizuelizovanje prenošenja jeste dijagram protoka.

Dijagram protoka obezbeđuje informaciju o kretanju materijala i odgovarajuće polazne i odredišne tačke prenošenja. U tom dijagramu, izvorne i odredišne tačke predstavljene su kao čvorovi, a tokovi materijala su označeni pomoću strelica izmedu tačaka. Čvorovi mogu predstavljati ćelije (proizvodna odeljenja) između kojih delovi moraju da se prenose ili oni mogu biti posebna utovarna i istovarna mesta unutar objekta. Primer jedne moguće konstrukcije dijagrama protoka prikazan je na slici 8.3. Dijagram protoka prikazuje materijalni tok između različitih utovarnih i istovarnih mesta (ćelija). Čvorovi predstavljaju utovarno ili istovarno mesto (ćeliju); strelice sa brojevima pokazuju obime protoka materijala.



Slika 8.3. *Dijagram protoka*

Ovaj dijagram protoka prikazuje iste informacije koje su date na karti od-do u tabeli 8.2. Obimi protoka materijala prikazani su blizu vrhova strelica na dijagramu. Zbog većeg vizuelnog efekta količine materijala koje se prenose mogu da se prikazu u dijagramu protoka pomoću strelice različitih boja ili višestrukih linija da bi se predstavili razni nivoi saobraćaja.

Neke kvantitativne mere i jednačine mogu da se definišu da bi pomogle u analiziranju problema unutrašnjeg transporta. Obim toka materijala između ćelija može da se meri u jedinicama kao što su komadi po satu, tone po satu, i tako dalje, u zavisnosti od tipova materijala koji se prenose. Za predstavljanje ovog obima toka upotrebljava se matrica $Q = [q_{ij}]$, usvajajući ma koju jedinicu koja je podesna za obuhvaćeni materijal. Ovaj

obim toka važi za kretanje na nekom rastojanju, $D = [d_{ij}]$, (matrica dužina isporuka između ćelija), u fabrici ili skladištu.

Transportni rad $W = [w_{ij}]$, predstavlja proizvod ova dva parametra:

$$w_{ij} = q_{ij} \cdot d_{ij}, \quad (i = 1, 2, \ldots, n; j = 1, 2, \ldots, n), \tag{8.1}$$

gde je n broj ćelija u rasporedu. Jedinice za w_{ij} jednostavno su jedinice obima toka (kom/h) pomnožene sa pogodnom merom rastojanja (m). Otuda, w_{ij} ima jedinicu kao što je ($kom \cdot m/h$).

Obimi protoka mogu biti različiti između početnih i odredišnih tačaka, kao i obuhvaćena rastojanja. Da bi se odredio ukupan transportni rad (C) ove raznovrsne isporuke mogu se agregirati sabiranjem pojedinadnih vrednosti w_{ij} za svaku isporuku:

$$C = \sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{n} w_{ij} \tag{8.2}$$

gde se sabiranje vrši po svim isporukama koje moraju da se realizuju. Meru ukupnih zahteva obezbeduje transportni rad C koji moraju da se ispune pomoću sistema unutrašnjeg transporta. To jest, transportni sistem mora biti sposoban za izvršenje iznosa transportnog rada C.

Sistema unutrašnjeg transporta mora da se projektuje za veći kapacitet od onog koji je dat pomoću transportnog rada C. Razlozi za to su vremenski gubici i neefikasnosti za vreme rada sistema (vreme utovara i istovara, povratna putovanja bez tereta, nerad sistema zbog održavanja i popravki, zastoj u saobraćaju, probleme planiranja i drugo.

Ciklus isporuke ima svoj efektivni i deo gubitaka. Stvarna isporuka obuhvata kretanje opterećenog sredstva transportnog sistema (viljuškara, visećeg konvejera, automatizovanog vođenog vozila) i zavisi od:

- d_{ij} – rastojanja između polazne i tačke odredišta,
- v – brzine transportnog sistema,
- t – vremena pune isporuke je d_{ij}/v.

Vreme pune isporuke t, predstavlja produktivno vreme transportnog sistema. Pored vremena pune isporuke svaka isporuka mora, takođe, obuhvatiti:

- operaciju utovara i istovara (operacije često zahtevaju vreme koje se oduzima od raspoloživog vremena za transportovanje materijala),
- aktivnosti utovara i istovara kombinuju se u izraz za t.

Transportno sredstvo posle završetka isporuke napušta istovarno mesto i u povratnom transportu prelazi na sledeću lokaciju prihvatanja. Transportno sredstvo najčešće prazno odlazi sa mesta istovara, trošeći vreme u povratku bez tereta.

Ovo vreme predstavlja neefikasnost transportnog sistema. Često je moguće izmeriti ili oceniti dužinu puta koju transportni sistem pređe. Konvejer sa zatvorenom petljom prikuplja

delove na jednoj lokaciji i ostavlja ih na drugoj lokaciji. Pri tome na delu putanje je prazan. Putanja praznog konvejnera može lako da se izmeri kao dužina povratne petlje u konvejnerskom sistemu:

- d'_{ij} – rastojanje praznog kretanja,
- t' – vremena praznog putovanja je d'_{ij}/v.

Vremena praznog putovanja podrazumeva da nema zaustavljanja duž puta do sledeće tačke prihvatanja.

Druge nefikasnosti u sistemu unutrašnjeg transporta spadaju u saobraćajni faktor f:

- zastoj u saobraćaju,
- loše planiranje i drugo.

Za transportne sisteme:

- $f = 1,0$ – za sisteme u kojim su gubici ovog tipa neznatni,
- $f = 0,85$ i manje – za sistem automatizovanog vođenog vozila, gde se značajno nagomilavaju vozila.

Sistem unutrašnjeg transporta neće raditi 100% efikasno. Tokom transportnog rada definisanog pomoću izraza (8.2). Svi gubici mogu da se ugrade u meru **globalne efikasnosti za sistem unutrašnjeg transporta** E:

$$E = \frac{(\overline{d}/v)\,U}{(\overline{d}/v + t)\,U + (\overline{d'}/v)\,U'}\,f \quad \text{ili} \quad E = \frac{(C/v)}{C/v + t\,U + C'/v}\,f \tag{8.3}$$

- E – globalna efikasnost transportnog sistema;
- $\overline{d} = C/U$ – prosečno rastojanje punog putovanja sa utovarom i istovarom (m);
- $U = \sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{n} q_{ij}$ – ukupan potreban broj punih putovanja sa utovarom i istovarom po satu (kom/h);
- $\overline{d'} = C'/U'$ – prosečno rastojanje praznog putovanja (m);
- $C' = \sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{n} q'_{ij}\,d'_{ij}$ – ukupan prazan transportni rad $(kom \cdot m/h)$;
- $U' = \sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{n} q'_{ij}$ – ukupan potreban broj praznih putovanja po satu (kom/h);
- $Q' = [q'_{oj}]$ – matrica potrebnog broja praznih putovanja po satu između ćelija (kom/h).

Mera globalne efikasnosti za sistem unutrašnjeg transporta može da se primeni kada su putanje za vođenje kompleksne. Za sisteme sa jednom kružnom putanjom za vođenje, kada je $U^0 = U = U'$, posmatrana efikasnost postaje:

$$E = \frac{\overline{d}/v}{T^0}\,f \tag{8.4}$$

gde su:

- $T^0 = \overline{d}/v + t + d'/v$ – vreme povratnog putovanja (min);
- U^0 – ukupan potreban broj povratnih isporuka po satu $(\mathrm{kom/h})$.

Tip sistema unutrašnjeg transporta omogućuje da se neki članovi u imeniocu jednačine efikasnosti mogu izostaviti ili mogu zahtevati posebno tumačenje.

Sistem unutrašnjeg transporta mora da se planira sa prikladnim uvažavanjem ove efikasnosti. Sistem se projektuje za izvršenje iznosa transportnog rada datog jednačinom za **potreban kapacitet transportnog sistema** K:

$$K = \frac{C}{E}$$

Jedinice ovog potrebnog kapaciteta su iste kao jedinice za C $(\mathrm{kom \cdot m/h})$. Određivanje precizne i realne mere E je teško, pošto vrednosti članova u izrazu (8.3) i rezultuju da vrednost efikasnosti ne zavise samo od projekta transportnog sistema, već i od načina rada i upravljanja sistemom.

8.3. Projektovanje sistema unutrašnjeg transporta

Potreban kapacitet transportnog sistema zavisi od specifičnog tipa opreme koja treba da se instalira. Konvejnerski sistem ima svojstva primene koja se razlikuju od kranova, viljuškara ili sistema automatizovanog vođenog vozila.

Fabrika može da se klasifikuje ili kao nova (nije još izgrađena) ili kao postojeća. Fabrički raspored je važan faktor koji utiče na projektovanje sistema unutrašnjeg transporta. Projektovanje transportnog sistema za novi objekat mora da se razmatra kao istovremeno projektovanja rasporeda. Ako se to čini postoji veća mogućnost za kreiranje rasporeda koji optimizira tok materijala u zgradi i koristi pogodniji tip transportnog sistema. U slučaju postojećeg objekta, postoji manja širina u projektovanju sistema unutrašnjeg transporta, zbog ograničenja koja sprečavaju realizaciju optimalnih obrazaca protoka u zgradi.

Raspored treba da obezbedi sledeće informacije za upotrebu u projektovanju transportnog sistema:

- lokacije za prihvatanje materijala (utovarna mesta);
- lokacije za isporuku materijala (istovarna mesta);
- moguće puteve između ovih lokacija;
- rastojanja koja moraju da se pređu da bi se preneli materijali;
- mogućnosti za kombinovanje isporuka, moguća mesta gde može da se dogodi nagomilavanje, obrasce protoka;
- ukupnu površinu objekta i površine unutar specifičnih odeljenja u rasporedu; i
- uređenje opreme u rasporedu.

Svaka od ovih informacija ima uticaj na tip opreme koji se bira i nadin instaliranja opreme u formiranju sistema unutrašnjeg transporta.

Različiti tipovi rasporeda utiču na izbor sistema unutrašnjeg transporta. **U slučaju fiksnog-pozicionog rasporeda**, proizvod je veliki i težak i zbog toga uglavnom ostaje na jednoj lokaciji za vreme njegove fabrikacije. Teške komponente i podsklopovi moraju da se prenose do proizvoda. Transportni sistemi koji se upotrebljavaju za ova preseljenja u fiksnim/pozicionim rasporedima veliki su i često pokretni. U ovim rasporedima obično su kranovi, dizalice i kamioni.

U procesnim rasporedima proizvode se raznovrsni proizvodi, a količine po proizvodu su srednje ili male. Transportni sistem mora biti fleksibilan i programabilan (ako je automatizovan) u tretiranju varijacija. Znatne zalihe u procesu jedno su od uobičajenih svojstava ovog tipa proizvodnje, a transportni (i skladišni) sistem mora biti sposoban za prihvatanje ovih zaliha. Ručna kolica i viljuškari (koji prenose palete natovarene sa delovima) obično se upotrebljavaju u rasporedima procesnog tipa. Delovi u obradi često se skladište na fabričkom podu blizu sledećih-planiranih mašina. Zbog toga što se njihov kapacitet programira, automatizovana vođena vozila će verovatno postati mnogo običnija u hudućim fabrikama, jer ona predstavljaju prilagodljiva sredstva transporta raznih teretnih konfiguracija sa srednjim i malim obimom proizvodnje.

Predmetni-protočni raspored obično obuhvata proizvodnju standardnih (ili skoro identičnih tipova) proizvoda u relativno velikim obimima. Transportni sistem tipično pokazuje sledeća svojstva:

- mehanizovan je ili automatizovan,
- fiksna instalacija, i
- fiksni put.

Česte su isporuke i skladišni sistemi (da bi se redukovali uticaji prekida između proizvodnih oblasti duž linije toka proizvoda). Konvejnerski sistemi se često upotrebljavaju za transport proizvoda u predmetnim-protočnim rasporedima. Isporuka komponenti za stokiranje na raznim radnim mestima duž putanje toka u montažnim pogonima izvršava se pomoću kolica i sličnih vozila jediničnog tereta.

8.3.1. Principi unutrušnjeg transporta

Principi unutrašnjeg transporta godinama su se razvijali i dokumentovali da bi se obezbedilo upravljanje projektom automatizovanog transportnog sistema. Najpoznatiji principi opisuju se u najstandardnijim referencama o unutrašnjem transportu.

Jedan od najvažnijih principa jeste princip jediničnog tereta. Prema principu jediničnog tereta poželjno je da se sakupi neki broj pojedinačnih komada u jedan teret koji može da se transportuje sa manje odvojenih isporuka nego pojedinačni komadi. Komadi se obično smeštaju u kontejner (prevozni sud, korpu, paletu ili paletnu kutiju, itd.), a transportni sistem se projektuje za prenošenje kontejnera. Dramatičan uticaj koji princip jediničnog tereta ima na projekat transportnog sistema mate da se vidi preko ispitivanja

njegovog dejstva na izraz za E. Ako je n_d broj pojedinačnih delova ili komada u jediničnom teretu, tada E ima oblik:

$$K = \frac{C}{n_d E}$$

Jedinice ove količine postaju jedinični $tereti \cdot m/h$. Potreban kapacitet transportnog sistema može bitno da se redukuje korišćenjem prednosti principa jediničnog tereta i postizanjem što veće vrednosti n_d. Drugi principi unutrašnjeg transporta su takode važni, ali nijedan nema tako značajan uticaj na kapacitet isporuke sistema kao princip jediničnog tereta.

Izbor opreme unutrašnjeg transporta mora da se vrši tako da rezultujući sistem zadovoljava zahteve transportnog problema. Po konceptu, mora da se specifikuje u skladu sa problemom koji se analizira različitim metodama uz primenu projektantskih razmatranja.

8.4. Tipovi opreme unutrašnjeg transporta

Postoji velika raznovrsnost komercijalno raspoložive opreme unutrašnjeg transporta. Oprema može da se podeli u tri kategorije koje su prikazane u tabeli 8.4. Sve tri kategorije se razmatraju unutar domena o automatizovanim sistemima, jer su sve one same visoko mehanizovane i ili automatizovane i zato što se one upotrebljavaju u automatizovanim proizvodnim sistemima. Kao što je prikazano u tabeli 8.4 konvejeri mogu biti ili gravitaciono terani ili sa motornim pogonom. Oba tipa, ali posebo konvejeri sa motornim pogonom, često se upotrebljavaju kao komponente u automatizovanim sistemima kretanja i skladištenja materijala.

Tabela 8.4. *Tipovi opreme*

Tipovi opreme unutrašnjeg transporta	Karakteristike
Konvejneri	Velika familija transportnih sredstava projektovanih za kretanje materijala između specifičnih lokacija po fiksnoj putanji, obično u velikim količinama ili obimima. Mogu biti mehanizovani, automatizovani, gravitacioni konvejneri (slivni valjkasti) i konvejnere sa motornim pogonom (trakasti, lančani, valjkasti, viseći, podni i šinski).
Industrijski roboti	Višefunkcionalni manipulatori projektovani za kretanje materijala, delova, alata ili specijilnih uređaja posredstvom promenljivih programiranih pokreta radi izvršavanja raznovrsnih zadataka. Roboti mogu da se klasifikuju kao programabilna automatizacija. Primeri uključuju robote za prenos materijala i robote za utovar i/ili istovar mašine.
Sistemi automatizovanog vođenog vozila (AGVS)	Baterijski-pokretana, automatski upravljana vozila projektovana za praćenje definisanih putanja. Neka su sposobna za automatski utovar i istovar jediničnog tereta. Obično se povezuju sa drugim automatizovanim sistemima da bi se ostvarile potpune koristi od integrisane automatizacije. Primeri uključuju vozove bez vozača, paletna kolica i transportna sredstva jediničnog tereta.

Karakteristika konvejerskih sistema sa motornim pogonom jeste da je pogonski mehanizam ugrađen u samu putanju konvejera. Pojedinačna transportna sredstva (ako se upotrebljavaju kolica ili drugi teretni kontejneri) ne pokreću se pojedinačno. Konvejerski sistem

tipično se upotrebljava kada materijal mora da se prenese u relativno velikim količinama između specifičnih lokacija duž utvrđene putanje. U tabeli 8.4. prikazani su tipovi opreme unutrašnjeg transporta u automatizovanim proizvodnim sistemima.

Primene industrijskih robota u unutrašnjem transportu su one u kojima roboti prenose materijale ili delove od jedne lokacije i orijentacije do druge. Da bi se izvršio prenos, robot se oprema sa izvršnim delom tipa šake. Šaka mora da se projektuje za rukovanje specifičnim delom ili delovima koji se prenose. Danas su u primeni roboti za:

- prenos materijala;
- utovar i/ili istovar mašine.

U skoro svim primenama robota u unutrašnjem transportu, delovi moraju da se prinesu robotu u poznatoj poziciji i orijentaciji. To zahteva neki oblik uređaja unutrašnjeg transporta za isporuku delova u radnu ćeliju i ovu definisanu poziciju i orijentaciju. Budući roboti, opremljeni sa podesnim senzorima, možda će biti sposobni da rade sa slučajno unetim delovima u ćeliju, ali to nije običaj u današnjim primenama.

AGVS je pogodno sredstvo za automatizovanje funkcije unutrašnjeg transporta u srednjeserijskoj proizvodnji, pa čak i u pojedinačnoj i maloserijskoj proizvodnji. Sistem automatizovanog vođenog vozila predstavlja najprilagodljivije sredstvo za automatsko kretanje materijala. AGVS je podesan u primenama gde različiti materijali moraju da se prenesu od raznih utovarnih i istovarnih mesta.

Transportna oprema se može klasifikovati prema njenim karakteristikama. Ova svojstva uključuju da li je sistem ručno upravljan ili aulomatizovan, pokretan ili fiksiran na mestu i tako dalje. Karakteristike konvejneri su:

- obično su mehanizovani, a ponekad aulomatizovani;
- fiksirani su na mestu po utvrđenim putanjama;
- mogu biti ili podno montirani ili viseći;
- skoro su uvek ograničeni na jednosmerni tok materijala;
- obično prenose diskretne terete, ali izvesni tipovi mogu da se upotrebljavaju za prenošenje rasutih ili kontinualnih tereta; i
- mogu da se upotrebljavaju ili samo za isporuku ili za isporuku plus skladištenje delova.

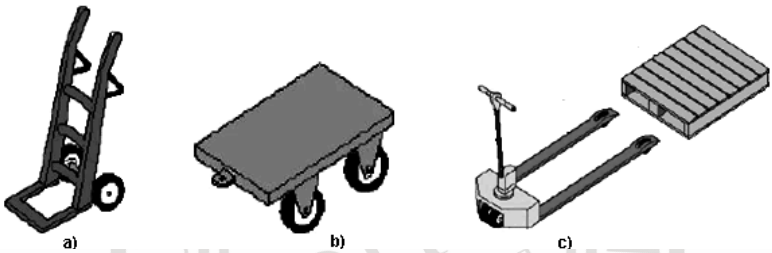
Oprema unutrašnjeg transporta obično se montira u sistemima. Ovi sistemi moraju da se specifikuju i uobliče za posebnu primenu. Projekat sistema zavisi od delova, materijala ili proizvoda koji treba da se transportuju, količina koje treba da se kreću, rastojanja kretanja, tipa proizvodnog sistema koji će opsluživati transportna oprema i drugih faktora, uključujući raspoloživi budžet.

Oprema za transport materijala omogućuje lakše kretanje materijala unutar fabrike i skladišta. Osnovni tipovi opreme koji se koriste su:

1. Industrijska kolica (vagoni),
2. Automatski vođena vozila (AGV),
3. Šinsko vođena vozila,
4. Pokretne trake (konvejeri) i
5. Dizalice i kranovi.

8.4.1. Industrijska kolica

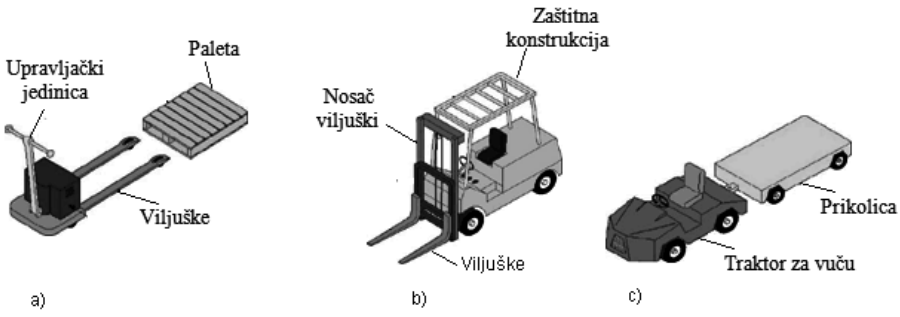
Razlikuju se dve kategorije industrijskih kolica: malog i velikog kapaciteta. Malog kapaciteta su najčešće ručna gurajuća kolica za prenos tereta.



Slika 8.4. *Industrijska kolica malog kapaciteta (a) ručna kolica sa dva točka, (b) kolica sa četiri točka i (c) ručno upravljiva nisko podižuća paletna kolica*

Ručna kolica obuhvataju izuzetnu široku familiju sredstava s obzirom da su po pravillu jeftina, lako se nabavljaju, ne zahtevaju posebnu obuku i dr. Koliko god izgledala jednostavno, ona se mogu klasifikovati sa aspekta više faktora, i klasifikacija može biti u funkciji: broja/vrste točkova, predmeta koji se transportuje/manipuliše, materijala izrade, nosivosti, konstrukcije i načina (po)kretanja/upravljanja.

Kolica većeg kapaciteta se sreću u tri tipa u fabrikama i postrojenjima predstavljeni na slici 8.5.

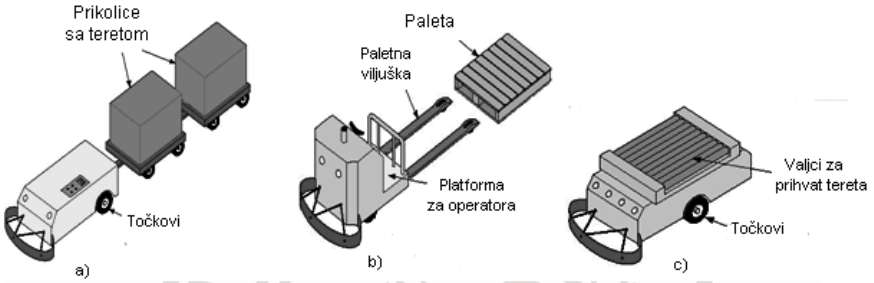


Slika 8.5. *Kolica većeg kapaciteta (a) kolica za palete, (b) viljuškari i (c) vučni traktori*

8.5. Sistemi automatizovanog vođenog vozila

Sistem automatizovanog ili automatskog vođenog vozila (AGVS) jeste sistem unutrašnjeg transporta koji upotrebljava računarom upravljana, samohodna vozila koja se vode duž delinisanih putanja u podu. Vozila se pokreću pomoću akumulatora na vozilu koji dopušta rad od nekoliko sati (8 do 16 sati) do ponovnog punjenja.

Ocrtavanje putanja obično se izvršava pomoću žica ugrađenih u podu ili reflektujuće boje na površini poda. Navođenje se ostvaruje pomoću senzora na vozilima koji mogu pratiti upravljačke žice ili boju.



Slika 8.6. *Tri osnovna tipa automatskih vođenih vozila: (a) vučna vožnja, (b) paletna kolica, i (c) agregatni (jedinični) nosači*

Brojni su različiti tipovi AGVS-a, od kojih svi rade prema prethodnom opisu (Groover 2001, Ranky 1986). Osnovna podela AGVS-a sledi ispod.

AGVS vozovi bez vozača. Ovaj tip sastoji se od vučnog vozila (koje je AGV) koje vuče jednu ili više (5 do 10) prikolica za formiranje voza. To je bio prvi tip AGVS koji je predstavljen i još uvek je popularan. On je koristan u primenama gde velike količine materijala moraju da pređu relativno velika rastojanja u skladištima ili fabrikama sa prosečnim brojem tačaka prihvatanja i izručivanja duž puta.

AGVS paletna kola. Automatizovana vođena paletna kola se upotrebljavaju za prenošenje paletizovanih tereta duž definisanih putanja. Vozilo ulazi nazad, tovari paletu pomoću radnika koji upravlja kolima i upotrebljava njihove viljuške za neznatno dizanje tereta. Onda radnik vozi paletna kola do putanje za vođenje, programira njihovo odredište i vozilo automatski ide do odredišta za istovar. Kapacitet AGVS paletnih kola kreće se do $3.000\,\mathrm{kg}$.

AGVS viljuškari. Ovaj tip se odnosi na nedavno predstavljenu kombinaciju viljuškara i AGVS paletnih kola. Ovaj viljuškar je sposoban ne samo za pristupanje mašinskim ćelijama u FMS-u, već takođe skladište gde se radni komadi skladište na paletama. AGV viljuškar je opremljen automatskom jedinicom za bočno pomeranje zbog pretežnog bočnog kretanja. Kapacitet dizanja AGV-a je uglavnom 3 metra. Viljuške ovog "AGV-a za visoko dizanje" opremljene su izvorom i fotoćelijom za pozicioniranje viljuške kada pristaje u mašinske ćelije, kao i kada utovaruje paletizovane radne delove na paletnu policu. Ukupna greška pozicioniranja ovog rešenja je unutar 4 milimetra po pravcima x i y koje je dovoljno tačno, jer je mašinsko mesto pristajanja sposobno za automatizovano samocentriranje.

AGVS transportna sredstva jediničnog tereta. Ovaj tip AGVS-a se upotrebljava za prenošenje jediničnih tereta od jednog do drugog mesta. Ona su opremljena uređajima za automatski utovar i istovar posredstvom pogonskih valjaka, pokretnih traka, mehanizovanih lift platformi ili drugih uređaja. Primene transportnog sredstva jediničnog tereta uključuju AGV za:

- lake terete, i
- montažne linije.

AGV za lake terete je relativno malo vozilo sa odgovarajućim kapacitetom za lake terete (tipično $230\,\mathrm{kg}$ ili manje). Ono ne zahteva istu širinu prolaza kao uobičajen AGV. Vođena vozila za lake terete se projektuju za prenošenje malih tereta (pojedinačnih delova, malih korpi ili prenosnih posuda za delove, itd.) kroz pogone skromne veličine rezervisane za laku proizvodnju. AGVS za montažne linije projektuje se za nošenje delimično završenih podsklopova po redosledu montažnih ćelija za izgradnju proizvoda. U ovim primenama proizvodne operacije su relativno kratke (od 4 do 10 minuta po mestu u liniji) i ima mnogo različitih modela koji se rade na proizvodnoj liniji.

Prednosti sistema sa automatski vođenim vozilima su sledeće:

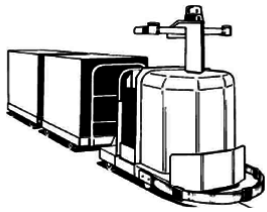
- značajna fleksibilnost u promeni transportne putanje kao i u pogledu prilagođavanja zahtevima,
- relativno jednostavna ugradnja, posebno kod rešenja baziranih na rešenjima upravljanja bez zahteva za ugradnjom fiksne opreme (radio upravljanje, lasersko navođenje i dr.),
- jednostavno povećanje transportnog kapaciteta uvođenjem novih vozila, odnosno mogućnost optimalnog prilagođavanja stvarnim potrebama,
- smanjenje oštećenja robe,
- znatno humaniji uslovi rada, naročito na montažnim linijama i radnim mestima sa posebnim uslovima rada,
- obezbeđenje automatskog upravljanja u svim procesima sistema kao i mogućnost direktnog povezivanja sa kompleksnim informacionim sistemima,
- podizanje organizacije na znatno viši nivo,
- radikalno smanjenje broja zaposlenih, i
- neosetljivost sistema na dužinu radnog vremena i broja smena.

Vozilo kao komponenta AGV sistema. Automatski vođena vozila se mogu klasifikovati u sledeće grupe:

- traktori,
- paletna kolica,

- transportna vozila, i
- specijalna vozila.

Za uobičajenu primenu u procesnom transportu izrađuju se sa elektro-baterijskim pogonom. AGVS vozila koja su konstruisana u obliku traktora, namenjena su po pravilu vuči više prikolica. Nosivost prikolica su obično od 1 do 2 tone, a mogu biti i znatno veće i do 20 tona.



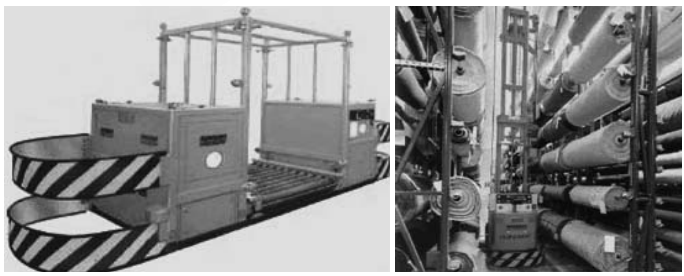
Slika 8.7. *Izgled AGVS vozila u obliku traktora*

Automatski vođenja paletna kolica konstruisana su najčešće tako da prenose jednu paletnu jedinicu, a mogu se sresti i sa produženim viljuškama koje obezebeđuju prihvatanje dve palatne jedinice. Nosivost ovog tipa vozila najčešće je između 15 i $20\,\mathrm{kN}$. Savremena rešenja imaju veliku autonomiju rada, zahvatanja, odlaganja što je rezultat razvoja i rešenja i podrške upravljanju ovih uređaja.

Specijalna vozila se zasnivaju na istim konstruktivnim rešenjima kao i prethodno opisana vozila. Razlika je u adekvatnom prilagođavanju specifičnim oblastima primene. U ovu grupu se može svrstati veliki broj vozila, ali se mogu uočiti tri razvojna trenda:

- vozila sa specijalnim transporterskim elementima,
- vozila sa teleskopskim i drugim konstrukcijama viljuški, i
- vozila sa mogućnošću integracije u proizvodne/montažne linije.

Vozila sa specijalnim transportnim elementima obezbeđuju direktnu veze sa transportnim sredstvima kontinualnog dejstva kao i stanicama različitih tipova koje su opremljene elementima nekog tipa transportera.



Slika 8.8. *Vozilo sa specijalnim transportnim elementima i sa sa teleskopskim i drugim konstrukcijama viljuški*

Vozila sa teleskopskim i drugim konstrukcijama viljuški obezbeđuju znatno veću autonomiju rukovanja materijalima i obavaljanje praktično svih skladišno-transportnih aktivnosti (zahvat, podizanje/spuštanje tereta, transport, lociranje i dr).

Vozila sa mogućnošću integracije u proizvodne/montažne linije su u velikoj meri povezane sa razvojem fleksibilnih proizvodnih sistema. Svojom autonomijom na neki način predstavljaju pokretna radna mesta, koja shodno tehnologiji i brzini rada u pojedinim zonama na odgovarajući način dopremaju/otpremaju predmete rada.

AGVS robot-vozila. Ovaj tip AGVS-a predstavlja primer novog dizajna AGVS-a. Obuhvata postavljanje robotskog manipulatora na automatizovano vođeno vozilo da bi se obezbedio pokretan robot za izvršavanje kompleksnih transportnih zadataka na raznim lokacijama u fabrici. Ova vozila sa robotom već se viđaju u čistim sobama u poluprovodničkoj industriji.

AGVS tehnologija je daleko ad zrelosti, pa industrija neprekidno radi na razvoju novih sistema da bi odgovorila na nove zahteve primene. Sistemi automatizovanog vođenog vozila upotrebljavnju se u rastućem broju i raznovrsnim primenama. Primene idu paralelno sa tipovima vozila.

Jedna od rastućih primena tehnologije AGVS-a je u fleksibilnim proizvodnim sistemima. U ovoj primeni vođena vozila se upotrebljavaju kao sistem unutrašnjeg transporta u FMS. Vozila dostavljaju delove od oblasti koncentracije (gde se delovi smeštaju na paletne uređaje, obično ručno) do prilaza pojedinačnim ćelijama u sistemu. Vozila takođe prenose delove između prilaza ćelijama u proizvodnom sistemu. U prilazu (dok) ćelije, posao se prenosi sa platforme vozila u radnu oblast ćelije (obično, na sto mašine alatljike za obradu). Po završetku obrade u toj ćeliji vozilo dolazi ponovo da prihvati delove i da ih transportuje do sledeće ćelije. Sislemi AGV-a obezbeđuju prilagodljiv sistem unutrašnjeg transporta da bi upotpunili fleksibilnost rada FMS-a.

8.5.1. Kvantitativna analiza AGV sistema

Moguće je definisati jednačine koje regulišu rad sistema automatizovanog vođenog vozila (Ilić 1994). Pretpostaviće se da vozilo radi sa konstantnom brzinom od početka do kraja rada i ignorisati uticaj ubrzanja, smanjenja brzine i drugih brzinskih razlika koje mogu poticati od tereta koji se nosi i drugih faktora koji utiču na brzinu.

Elementi vremena za povratnu isporuku AGVS-a su sledeći:

1. operacija utovara na mestu prihvatanja i operacija istovara na mestu ostavljanja (prethodno su sabrani ovi elementi da bi se dobilo t, vreme i rukovanja teretom);
2. prosečno vreme putovanja do mesta ostavljanja ($\overline{d}/v$); i
3. prosečno vreme praznog putovanja vozila izmedu isporuka ($\overline{d}'/v$).

Ignorišući svaki uticaj zastoja u saobraćaju, ukupno prosečno vreme po povratnoj isporuci po vozilu dato je, dakle, preko

$$T^0 = \frac{\overline{d}}{v} + t + \frac{\overline{d}'}{v} \tag{8.5}$$

gde je v – brzina kola (vozila) u AGVS-u.

Ako nema gubitaka zbog zastoja u saobraćaju, broj povratnih isporuka po satu izvršenih po svakom vozilu može da se odredi uzimanjem recipročne vrednosti od T0. Međutim, saobraćajni gubici mogu imati značajan uticaj na performanse sistema automatizovanog vođenog vozila. Prethodno definisan saobraćajni faktor f, upotrebljava se da bi se procenio uticaj ovih gubitaka na performanse sistema. Izvori neefikasnosti u AGVS-u koji se uračunavaju preko saobraćajnog faktora uključuju blokiranja vozila, čekanja na raskrsnicama, čekanja vozila u liniji, loše planiranje, neefikasno određivanje puta vozila i loš raspored put a za vođenje. Blokiranja, čekanja na raskrsnicama i čekanja vozila u liniji zavise od broja vozila u sistemu i relativno od veličine rasporeda. Na primer, ako postoji samo jedno vozilo u sistemu, neće se dogoditi blokiranje pa će saobraćajni faktor biti vrlo blizu 1. Za sisteme sa više vozila postojaće mnogi primeri blokiranja i nagomilavanja pa ce saobraćajni faktor uzeti manju vrednost. Drugi faktori koji utiču na zastoj u saobraćaju jesu:

- planiranje (centralno računarsko upravljanje, programirano preko algoritama optimalnog planiranja, ide ka efikasnijem planiranju i određivanju puta od dispečiranja na tabli ili daljinskog dispečiranja),
- određivanje puta, i
- raspored AGVSa.

Tipične vrednosti saobraćajnog faktora za AGVS-a kreću se izmedu 0.85 i 1.0.

Da bi se procenio broj povratnih isporuka koji može da se izvrši po satu pomoću jednog vozila, pretpostaviće se da se T^0 daje u minutima i da se saobraćajni faktor izražava kao koeficijent:

$$R^0 = \frac{60\,f}{T^0} \tag{8.6}$$

gde je R^0 – broj povratnih isporuka po satu po vozilu ($isp/h/voz$). Analogno, dobija se

$$R = \frac{60\,f}{\frac{\overline{d}}{v} + t} \quad \text{ili} \quad R' = \frac{60\,f}{\frac{\overline{d}'}{v}} \tag{8.7}$$

gde su:

- R – broj punih putovanja sa utovarom i istovarom po satu po vozilu ($isp/h/voz$);
- R' – broj praznih putovanja po satu po vozilu ($isp/h/voz$).

Alternativno, upotrebljavajući efikasnost transportnog sistema E, definisanu u izrazu (8.4), izraz (8.6) postaje

$$R^0 = \frac{60\,E}{\frac{\overline{d}'}{v}} \tag{8.8}$$

gde je $\overline{d}'/v$ – vreme direktnog putovanja po vozilu za isporuku bez zakašnjenja ili gubitka vremena.

Efikasnost transportnog sistema E ne uključuje gubitke koji proizilaze iz rasporeda AGVS,

koji sadrži duge i suvišne putanje koje prouzrokuju da vozila putuju više nego što je potrebno da bi stigla do odredišta.

Ukupan broj potrebnih vozila u sistemu može da se proceni na osnovu

$$N = \left[\frac{U}{R} + \frac{U'}{R'} \right] \tag{8.9}$$

gde je N – ukupan broj potrebnih vozila za kretanje tereta od tačke do tačke (ćelije) u složenom sistemu. Notacija $[]$ implicira najmanji ceo broj veći ili jednak vrednosti u zagradi.

Zamenom vrednosti R i R′ iz izraza (8.7) u izraz (8.9) dobija se

$$N = \left[\frac{\left(\frac{\overline{d}}{v} + t\right) \cdot U + \left(\frac{\overline{d}'}{v}\right) \cdot U'}{60\,f} \right] \quad \text{ili} \quad N = \left[\frac{\frac{C}{v} + t \cdot U + \frac{C'}{v}}{60\,f} \right] \tag{8.10}$$

Kada je $U^0 = U = U'$, onda posmatrani izraz (8.10) postaje

$$N = \left[\frac{U^0\, T^0}{60\,f} \right] \tag{8.11}$$

odnosno, ukupan potreban broj vozila u jednostavnom sistemu sa jednom kružnom upravljačkom putanjom može da se proceni na osnovu broja povratnih putovanja (isporuka) po satu koji svako vozilo može izvršiti i ukupnog broja povratnih isporuka koji mora da se izvrši pomoću sistema

$$N = \left[\frac{U^0}{R^0} \right] \tag{8.12}$$

Ako ima varijacija od sata do sata u broju isporuka koje moraju da se izvrše pomoću sistema, maksimalna mera tražnje je podesna vrednost za upotrebu u izrazu. Alternativno, upotrebljavajući efikasnost transporting sistema E, definisanu u izrazu (8.4), izraz (8.11) postaje

$$N = \left[\frac{U^0 \left(\frac{\overline{d}}{v}\right)}{60\,E} \right] \tag{8.13}$$

Upotrebom efikasnosti transportnog sistema E, definisanu u izrazu (8.3), izraz (8.10) postaje

$$N = \left[\frac{\left(\frac{\overline{d}}{v}\right) U}{60\,E} \right] \tag{8.14}$$

odnosno, upotrebljavajuci efikasnost transportnog sistema E, definisanu u izrazu (8.3), izraz (8.10) postaje

$$N = \left[\frac{\left(\frac{C}{v}\right)}{60\,E} \right] \tag{8.15}$$

gde je C/v vreme potrebno za kretanje svih tereta. Imajući u vidu izraz (8.5), sada se može napisati da je

$$N = \left[\frac{K}{60\,v}\right] \tag{8.16}$$

Ova metoda kvantitativne analize sistema AGV-a može da se primeni u velikim kompleksnim sistemima gde kretanje tereta zahteva da se vozila kreću od tačke do tačke; ona ne slede putanje sa povratnim putovanjem. Ovom metodom se može odrediti broj potrebnih vozila i testirati izvršenje sistema posle završetka projektovanja. Potencijalna uska grla mogu da se identifikuju i otklone. Izmene rasporeda mogu da se testiraju da bi se redukovalo vreme putovanja.

Određivanje prosečnih rastojanja putovanja d i d', zahteva analizu rasporeda određenog AGVS-a. Za jednostavan raspored u obliku petlje, određivanje ovih vredosti obično je neposredno. Kada se složenost rasporeda AGVS-a povećava, problem postaje teži.

Određivanje d', prosečnog rastojanja koje vozilo pređe prazno za svaku isporuku, komplikovanije je. Ono zavisi od metoda dispečiranja i planiranja. Ako bi svako vozilo putovalo nazad do polazne tačke (ćelije 5 i 1) posle svakog uklanjanja u proizvodnoj ćeliji (ćelije 2, 3 i 4), rastojanje koje bi svako vozilo moralo da pređe između prihvatanja bilo bi veoma veliko. Vrednost C bila bi značajno veća od C'', a rezultujuća efikasnost transportnog sistema bila bi loša. Veoma je poželjno, dakle, minimizirati prosečno rastojanje koje vozilo prelazi prazno između prihvatanja da bi se poboljšala globalna efikasnost rasporeda AGVS. Ako vozilo može i da utovari neobrađen deo i da istovari gotov deo dok je zaustavljeno u datoj ćeliji, vreme praznog putovanja za vozilo će se minimizirati. Postupak sa materijalima je posebno bitan za industrijske sisteme: kretanje, skladištenje, zaštita i kontrola u materijalnoj proizvodnji i procesima distribucije, potrošnje i deponovanja.

U rukovanje materijalima u velikim proizvodnim sistemima spada: premeštanje, skladištenje, transport saobraćajnicama i komercijalnom infrastrukturom. Logostika velikih proizvodnih sistema doprinosi: pozitivnom poslovanju, kretanju, skladištenju, distribiuciji materijala i proizvoda, dobrom planiranju, kontroli operacija i kvalitetnom zadovoljenju potreba kupca.

8.6. Transportna sredstva sa kontinualnim (neprekidnim) dejstvom

Kontinualni transporteri su transportna sredstva koja preko određenog, nepromenljivog transportnog puta obezbeđuje kontinualni tok materijala. Tovar se toliko dugo transportuje dok se ručno, mehanički ili automatski ne preuzme sa kružne transportne putanje. Prednosti kontinualnog transporta je u:

- permanentnoj spremnosti za transport,
- maloj potrebi za osobljem,
- visokoj mogućnosti automatizacije, i

- mogućnosti iskorišćenja visine (kod transporta sa transporta sa krova).

Suštinski nedostatak kontinualnog transporta nalazi se u instalaciji koja je vezana za mesto sa odgovarajućom ograničenom fleksibilnošću.

Podela transportnih sredstava za unutrašnji transport data je u tabeli 8.4.

Tabela 8.5. *Transportna sredstva za unutrašnji transport*

Kontinualno dejstvo	▪ Pokretni stolovi ▪ Trakasti transporteri ▪ Transporteri sa valjcima ▪ Transporteri sa kuglicama ▪ Lamelasti transporteri ▪ Pločasti transporteri ▪ Konvejneri ▪ Postrojenja podzemnog transporta ▪ Lančani transporteri ▪ Valjčasti transporteri ▪ Klizni transporteri ▪ Spiralne kliznice ▪ Elevatori		
Periodično dejstvo	**Dizalice**	▪ Mostovne ▪ Viseće ▪ Dizalična vozila ▪ Obrtna dizalica ▪ Portalna dizalica ▪ Pokretna dizalica ▪ Utovarna dizalica	
	Regalna manipulativna sredstva	▪ Uređaji za opsluživanje regala ▪ Uređaji za utovar regala ▪ Viseća dizalica ▪ Utovarna dizalica	
	Liftovi	▪ Za teret ▪ Za osoblje ▪ Pokretne stepenice	
	Podna transportna sredstva	**Bezšinska**	▪ Viljuškar ▪ Portalni viljuškar ▪ Tegljač ▪ Kolica sa dizalicom ▪ Kolica sa visokim dizanjem
		Šinska	▪ Kolica sa platformom ▪ Lokomobili ▪ Kiperi
		Vožena	▪ Transportna sredstva bez vozača

8.6.1. Transportna sredstva sa periodičnim dejstvom

Transportna sredstva sa periodičnim (prekidnim) dejstvom rade naizmenično po pravilu kretanja po slobodnom izboru. Transportni proces se, nezavisno od transportnog sredstava, uopšteno sastoji od sledećih parcijalnih aktivnosti:

- preuzimanje tereta za transport na polazištu (izvor, mesto nastajanja naloga, odnosno, zahteva za transportom),
- transport tereta do odredišta (vožnja sa teretom),
- predaja tereta na odredištu (ušće, mesto izvršenja naloga odnosno zahteva za transportom), i
- vožnja do nekog novog ili povratak do istog polazišta (prazna vožnja).

Transportnim sredstvima sa periodičnim dejstvom pripadaju:

- dizalice i prenosilice (uređaji za podizanje tereta),
- regalna manipulativna vozila,
- podni transporteri, i
- liftovi.

Uređaji za podizanje tereta (dizalice): transportni put dizalice, kao što su portalne dizalice, mostne dizalice ili pokretne dizalice, je malo korišćeni prostor iznad radnih mesta, tako da one operišu nezavisno od uobičajenih transportnih puteva. Dizalice mogu da budu povezane sa raznim uređajima za prihvatanje tereta i stoga su pogodne za transport većih količina tereta.

Liftovi: poseban oblik dizalica predstavljaju liftovi. Kao tipični fiksni uređaji, služe u višespratnim građevinama za vertikalni transport lica i tereta. Pošto oni predstavljaju višestruko specifična uska grla u protoku materijala, treba ih planirati veoma obazrivo, sa uzimanjem u obzir njihovog učinka u protoku.

Regalna transportna vozila: upotrebljavaju se za uskladištenje i iskladištenje tereta, kao na primer viljuškasta dizalica ili uređaji za opsluživanje regala. Regalna transportna vozila ograničena na upotrebu u području skladišta, funkcionišu u hodniku regala na šinama za kretanje i vođenje.

Prednosti dolaze do izražaja, u dobroj mogućnosti automatizacije i u skromnijem zahtevu za prostorom u poređenju sa drugim transportnim sredstvima.

Bezšinska manipulativna vozila: se upotrebljavaju kada se u velikoj meri zahteva fleksibilnost i oslobađanje saobraćajnih puteva od fiksno instaliranih uređaja. Prednost imaju i male investicije u odnosu na druga transportna sredstva.

Osnovne vrste manipulativnih vozila su: tegljači, vagoni, podizači (viljuškari).

Manipulativna vozila sa vođenjem: su vozila vođena po tragu. Ovde se radi i o transportnim sredstvima bez vozača (TSBV). Transportni sistem bez vozača se u suštini sastoji od vozila i postrojenja, pri čemu u fizičkom i informatičkom smislu može da se razlikuje pet elemenata, koje je potrebno međusobno usaglasiti. Fizička ravan se sastoji od vozila, od pravca (kursa) vožnje i predaje tereta, a informatička ravan od upravljanja vozilom i postrojenjem.

Zajednički elementi vozila i postrojenja u fizičkoj ravni je predaja tereta. Pri tome mogu da budu aktivni:

- isključivo vozilo, ili
- isključivo jedna fiksno instalirana stanica za predaju tereta, ili
- zajednički vozilo i stanica za predaju tereta.

U zavisnosti od stepena automatizacije, može biti potpuno automatsko ili ručno preuzimanje i predaja tereta. Ovde se upotrebljavaju ili uređaji sa nadgradnjom elemenata kontinualnih transportnih sredstava, posebni prijemnici ili elektro-viljuškarska kolica.

Bitna funkcija upravljanja vozilom se sastoji od upravljanja prema cilju, dok upravljanje postrojenjem primarno služi za to da se izbegnu nesreće pri uključivanju na trasu i sudari pri priključivanju ili ukrštanju.

Za davanje naloga za vožnju, kao način prenosa tog naloga, na raspolaganju su:

- induktivni prenos, što znači prenos pomoću traka – žica vodilja položenih u pod,
- radio veze,
- ultrazvuk,
- infracrveno svetlo.

Izbor sistema za prenos podataka koji najviše odgovara, u svakom pojedinačnom slučaju, zavisi od:

- zahtevanog dometa,
- brzine prenosa podataka, koja se meri u Baud-ima (Bd) (jedan Bd odgovara jednom koraku u sekundi),
- obezbeđenja od smetnji,
- pripadajućih troškova,
- normalnih prosečnih mesta i
- propisa za odobrenje kojih se treba pridržavati.

8.6.2. Trakasti transporteri

Trakasti transporteri su pogodni za transport jediničnog ili rasutog tereta i mogu biti horizontalni, sa nagibom ili u krivini. Prilagodljivi su širokom spektru primene, od lakih specifičnih farmaceutskih proizvoda, preko kutija i paketa u industrijama hrane i pića, do transporta rasutih materijala u teškoj industriji. Nalaze primenu u proizvodnim i procesnim industrijama, automatizovanim sistemima, distribucionim centrima, fleksibilnim linijama za montažu, livnicama, aerodromima, poštama, i dr.

Trakasti transporteri, slika 8.9 se projektuju i izrađuju u potpunosti u skladu sa standardima ISO/HACCP. Sistem za kontrolu se lako implementira, uključujući uređaje za transfer ili gurače, foto-ćelije i druge komponente da bi se postigla puna ili parcijalna automatizacija.

Postoje različiti tipovi traka koje se biraju prema vrsti materijala koji se transportuje. Proizvođač može izabrati boju, u zavisnosti od svojih potreba i zahteva (vidljivost za kontrolu, bez odsjaja, bez mrlja i slično).



Slika 8.9. *Trakasti transporteri*

Opšte karakteristike i vrste trakastih transportera:

- Omogućuju kontinualni tok materijala;
- Moguće su razne kombinacije transportnih puteva;
- Konstrukcija: elektro plastificirani ugljenični čelik, nerđajući čelik ili aluminijumski profili;
- Širok spektar gumenih, PVC i PU traka, različitih dimenzija;
- Širok spektar profila trake: ravne, hrapave, sa pregradama, sa bočnim i leđnim vođicama;
- Jednostavna montaža transportera na licu mesta;
- Jednostavno postavljanje senzora za kontrolu;
- Pojedinačni transporteri mogu se jednostavno kombinovati sa drugim tipovima TRASING transportera;
- Kontrola rada, sa zaštitom od preopterećenja;
- Pogonska stanica transportera sa motor reduktorom;
- Regulacija brzine transportera preko frekventnog regulatora;
- Pripadajući kanali za kablove;
- Bočne vođice;
- Podesivi su po visini;
- Pouzdan rad;

- Dug vek trajanja;
- Jednostavno održavanje;
- Savremeni dizajn.

Tabela 8.6. *Tehničke karakteristike traka*

Naziv tehničke karakteristike transportera	Raspon osobina tehničkih karakteristika
Dužina	1 m .....25 m
Širina	100 mm ÷ 1000 mm
Tip trake	PVC, PU, GUMA
Brzina	0.1 m/min ..... 50 m/min
Frekventna regulacija brzine	± 50%
Pogonska jedinica	Elektromotor sa reduktorom
Pogonska rolna	Ø 63 mm..... Ø 630 mm
Ležajevi	Kvalitetni kuglični, trajno podmazani
Konstrukcija	Čelik ugljenični, Čelik nerđajući, Aluminijum
Površinska zaštita	farbanje, elektroplastifikacija, cinkovanje, inox
Bočne vođice	Čelični profile, aluminijumski profile, plastične vođice



Slika 8.10. *Trakasti transporteri*

Na slikama 8.11, 8.12 i 8.13 prikazane su različite konstrukcije transportera.



Slika 8.11. *Trakasti transporteri*



Slika 8.12. *Horizontalni trakasti transporteri za lake, srednje i teške terete, sa poprečnim pregradama, kosi i L-tip*



Slika 8.13. *Trakasti transporteri – Z-tip, kosi sa utovarnim košem, u krivini, sa poprečnim i uzdužnim vođicama*

8.6.3. Valjčasti transporteri - rolganzi

Gravitacioni rolganzi se koriste za transport lakih proizvoda i to uglavnom na kraćim rastojanjima. Ovi transporteri nemaju pogon i postavljeni su pod određenim uglom tako da se proizvodi kreću pod uticajem gravitacije.

Rolganzi sa pogonom sastoje se od rolni sa lančanicima, lanaca za transmisiju pogona, potpuno zatvorenog bočnog rama i pogona (elektromotora i reduktora) nasadnog tipa. Glavne odlike ovih transportera su robustnost i pouzdanost, u kombinaciji sa fleksibilnošću. Sistem za kontrolu se lako implementira, uključujući uređaje za transfer ili gurače, foto-ćelije i druge komponente da bi se postigla puna ili parcijalna automatizacija. Najčešća primena je u automatizovanim sistemima, na krajevima proizvodnih linija, pakovanja i paletizacije, u skladištima ili linijama za montažu.



Slika 8.14. *Valjčasti transporteri*

Opšte karakteristike transportera i vrste:

- Pojedinačni moduli mogu se lako kombinovati;
- Mogu biti sa ili bez akumulacije;
- Jednostavna instalacija senzora za kontrolu;
- Pripadajući kanali za kablove;
- Poseduju bočne vođice;
- Podesivi su po visini;
- Poseduju: foto ćelije, frekventnu regulaciju brzine, zaustavne rampe, uređaje za transfer i po potrebi oklop transportera;
- Pouzdan rad i dug vek trajanja;
- Jednostavnog su održavanja;
- Poseduju robustnu konstrukciju i moderan dizajn.



Slika 8.15. *Valjčasti transporteri – u krivini, reverzibilni i akumulacioni rolgang*



Slika 8.16. *Valjčasti transporteri – rolgang na pravcu, gravitacioni rolgang i rolgang u krivini*

U tabeli 8.7 prikazane su tehničke karakteristike rolganga.

Tabela 8.7. *Tehničke karakteristike*

Tehnički podaci rolganga	Opseg
Dužina	0.5 m .....12 m
Širina	100 mm ÷ 1800 mm
Visina	100 mm ÷ 1200 mm
Oblik	prav, u krivini, reverzibilan, akumulacioni, oklopljeni
Brzina	5 m/min ..... 30 m/min
Frekventna regulacija brzine	± 50%
Pogonska jedinica	Elektromotor sa reduktorom
Prečnik rolne	Ø 24 mm..... Ø 102 mm
Korak između rolni	26 mm..... 120 mm
Materijal rolni	čelik pocinkovani i nerđajući, aluminijum, plastika
Ležajevi	kvalitetni kuglični, trajno podmazani
Konstrukcija	čelik ugljenični i nerđajući
Površinska zaštita	farbanje, elektroplastifikacija, cinkovanje, inox
Oslonci	stopice podesive po visini

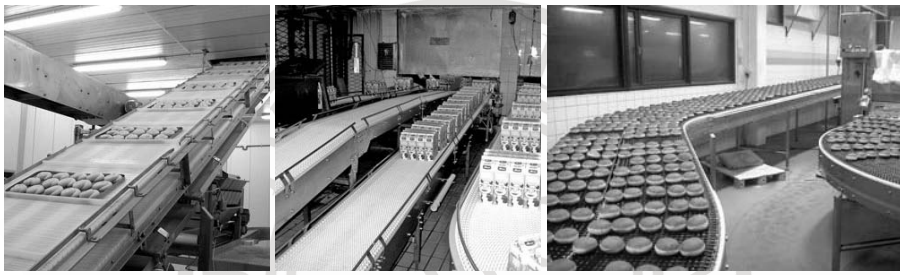
8.6.4. Transporteri sa modularnom trakom

Transporteri su pogodni za horizontalni, vertikalni, transport pod uglom i transport u krivinama. Koriste se za transport i jediničnih i rasutih tereta. Konvejeri su potpuno u skladu sa međunarodnim standardima. Sve komponente konvejera se odobravaju od FDA (Institut za hranu i lekove), USDA (Američki institut za poljoprivredu), HACCP, ISO 9000, ISO 14000.

Modularne plastične trake su napravljene od plastičnih modula. Trake se spajaju po blokirajućem šablonu, sa šarnirnom šipkom celom dužinom, tako da su veoma jake, tj. praktično neraskidive. Konvejeri imaju odlične performanse i dug vek trajanja u primerima:

- *Prerada hrane* (pekarska industrija, snek proizvodi, mesna industrija, živinarstvo, mlekarstvo, pakovanje i prerada voća i povrća i drugo),
- *Proizvodnja pića* (bezalkoholna pića, voda, pivarska industrija),
- *Hemijska industrija*,
- *Industrija guma*,
- *Transport generalno*,
- *Automatizovani sistemi i drugo*.

Na slici 8.17 prikazani su transporteri sa modularnom trakom.



Slika 8.17. *Transporteri sa modularnom trakom*

Vrste i opšte karakteristike transportera sa modularnom trakom

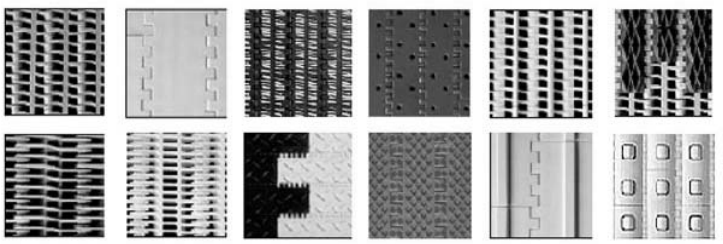
Karakteristike transportera:

- **Dugotrajnost**: Većina konvejera radi sa istom trakom tokom veka upotrebe.
- **Tihi rad**: Ovi transporteri imaju nivo buke na nivou $1/20$ u odnosu na standardne člankaste konvejere.
- **Bezbedan rad**: Modularna traka je potpuno u okviru konstrukcije transportera, pa nema rasipanja proizvoda.
- **Čistoća**: Transporteri imaju $40 \div 75\%$ otvorene površine, tako da nečistoća prolazi kroz njih. Mogu se prskati crevom ili prati - odobreno je od Međunarodne Agencije za bezbednost hrane.
- **Laki za održavanje**: Transporter se može otvoriti na bilo kom delu običnim šrafcigerom. Lančanici se mogu zameniti bez uklanjanja pogonskog vratila.
- **Laki za promene**: Koriste modularnu čeličnu konstrukciju spojenu vijcima, tako da se sekcije mogu dodavati, uklanjati ili menjati.
- **Brzo rešenje**: Veliko i dugotrajno iskustvo inženjera garantuje maksimalni kvalitet u najkraćem mogućem roku.

Vrste modularnih traka:

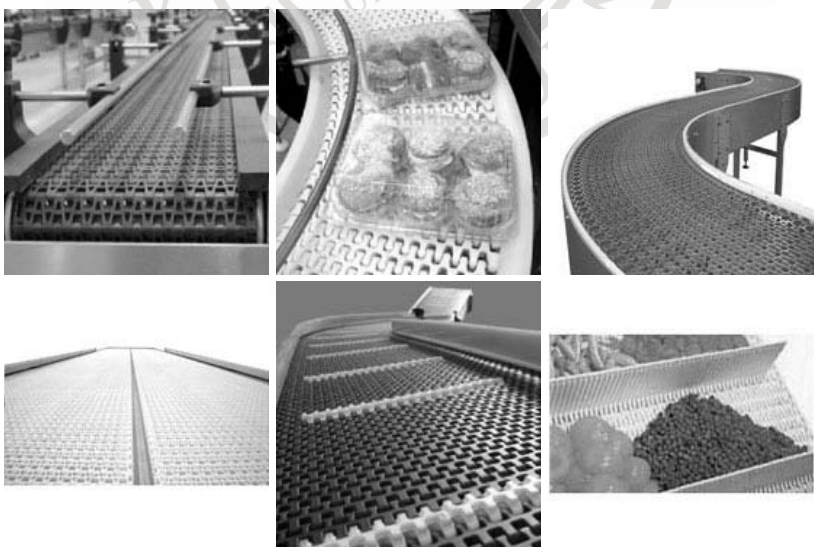
- Sa foto ćelijama i frekventnom regulacijom brzine;
- Poseduje zaustavne rampe i uređaje za transfer;
- Sistem za kontrolu se lako implementira, uključujući uređaje za transfer ili gurače, foto-ćelije i druge komponente da bi se postigla puna ili parcijalna automatizacija.

Tipovi modularnih traka: ravna traka, perforirana ravna traka, ravna rešetkasta traka, otvorena rešetkasta traka, traka sa podignutim rebrima, traka sa frikcionom površinom, traka sa rolerima, traka sa grudvastom površinom, traka sa konusnom površinom, traka sa otvorenim šarnirom (slika 8.18).



Slika 8.18. *Tipovi modularnih traka*

Tipovi transportera sa modularnom trakom su prikazani na slikama 8.19 i 8.20.



Slika 8.19. *Horizontalni na pravcu, sa 1 krivinom, sa 2 krivine, sa 2 linje, kosi i kosi sa prečkama*



Slika 8.20. *Kosi sa koficama, L-tip i Z-tip*

8.7. Fleksibilni transporteri

Najčešće se koriste u fleksibilnoj proizvodnji. Kompletna čelična konstrukcija obezbeđuje čvrstu strukturu i kada je transporter potpuno razvije i postavi. Materijal konstrukcije: čelik, elektro plastificiran; čelik je pocinkovani, nerđajući ili se koristi aluminijum. Samo vođenje paketa je tako rešeno da prate stazu konvejera bez bočnih vođica ili planiranih krivina. Lako se skuplja kada nije u upotrebi. Pocinkovane rolne su prečnika $35\,\mathrm{mm}$. Osno rastojanje osovinica u rasponu od 75 do $135\,\mathrm{mm}$ što omogućuje i transport malih paketa bez ikakvih problema. Pregrada za zaustavljanje kutija se nalazi na kraju konvejera.

Mogu se podeliti na:

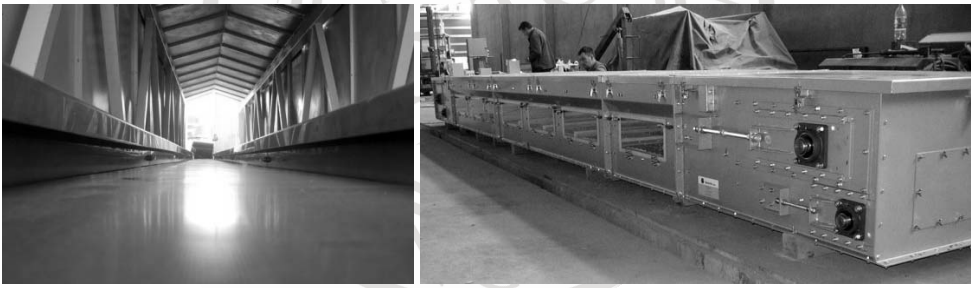
- gravitacione;
- sa točkićima;
- sa rolnama;
- tunelski transporter;
- oklopljeni transporter;
- krovni transporter;
- spiralni transporter;
- lift za komadni teret;
- elevator za čepove;
- za metal detektor;
- sa pneumatskim izbacivačem;
- za inspekcioni brojač;
- za etiketirku;
- za lepilicu sa magnetskim dejstvom.

Gravitacioni – bez pogona je idealan za primenu kod pakovanja, u distributivnim centrima, pri istovaru, u fleksibilnim linijama za montažu, u automatizovanim procesima proizvodnje. Putanja se može prilagoditi trenutnim potrebama, a nakon upotrebe može se sklopiti i ne zauzima mnogo mesta.

Na slikama 8.21, 8.22, 8.23 i 8.24 prikazani su samo neki od gore pomenutih fleksibilnih transportera.



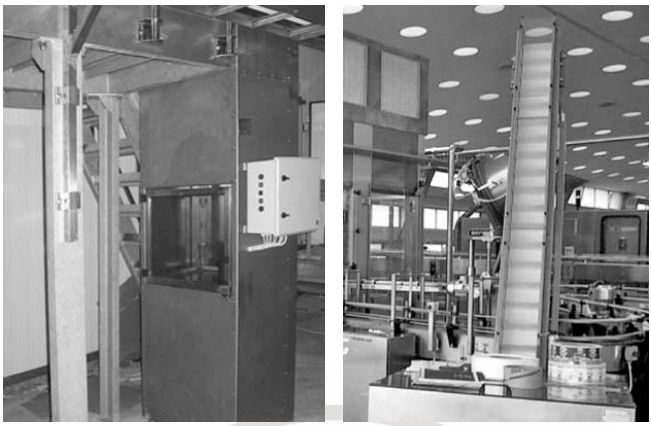
Slika 8.21. *Sa točkićima i sa rolnama*



Slika 8.22. *Tunelski i oklopljeni transporter*



Slika 8.23. *Krovni i spiralni transporter*



Slika 8.24. *Lift za komadni teret i elevator za čepove*

UNIVERZITET AKREDITOVANI PRIVATNI UNIVERZITET SINGIDUNUM

Glava 9

Fleksibilni automatizovani skladišni sistemi

Skladište je fiksna tačka ili čvor u sistemu logistike gde firma čuva sirovine, poluproizvode ili gotove proizvode u različitim vremenskim periodima. Čuvanje proizvoda u skladištima zaustavlja ili prekida tok robe, dodajući troškove proizvodima. Zalihe se moraju zaštititi, čuvati i kada je to potrebno dopremiti i otpremiti, pa je neophodno da za to bude obezbeđen određeni prostor. Za jedan poslovni sistem sa postavljenom logističkom mrežom cirkulacije materijala, delova, poluproizvoda i gotovih proizvoda, skladišta predstavljaju generatore te cirkulacije.

Skladišta su određeni prostori ili prostorije namenjeni za čuvanje i smeštaj robe koja je predmet poslovanja preduzeća. Na osnovu svoje osnovne uloge skladište se može definisati kao prostor za privremeno čuvanje raznih materijalnih sredstava u komadnom (ambalažiranom) rasutom i tečnom obliku, koji će posle izvesnog vremena biti uključeni u reprodukciju, transport ili potrošnju.

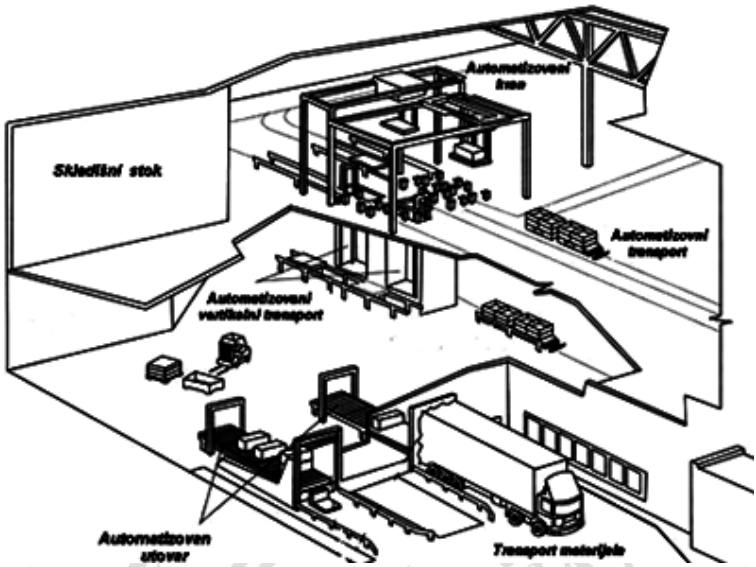
Skladište se sastoji od tri osnovna dela:

- prostora,
- opreme,
- ljudi.

Prostor omogućuje čuvanje robe kad su potražnja i ponuda nejednake. Prostor ne utiče samo na odluke o skladištenju nego i na dizajn sistema logistike. Ako potražnja za skladišnim prostorom prelazi ponudu, cena skladištenja raste jer se poslovni sistemi takmiče za za ograničen prostor. Višak prostora povećava cenu proizvoda.

Skladišna oprema uključuje uređaje za rukovanje materijalima, police za odlaganje, opremu za prenos i sistem za obradu informacija. Oprema pomaže u kretanju proizvoda, čuvanju i praćenju. Vrsta opreme koja se koristi u pogonu zavisi o vrsti proizvoda i međudelovanju između opreme i drugih komponenti skladišta.

Ljudi su najkritičniji činilac skladišta. Prostor i oprema ne znače ništa bez stručnih ljudi. Primarni razlog postojanja skladišta je podizanje nivoa usluge kupca. To često zahteva pojedinačnu pažnju posebnim zahtevima kupaca poput završnog sklapanja, posebnog pakovanja ili označavanja cena na pošiljci.



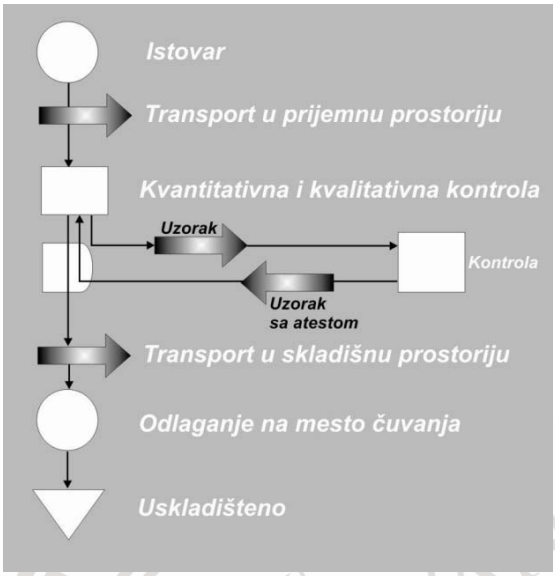
Slika 9.1. *Skladištenje, transport i utovar materijala*

9.1. Zadaci i performanse skladišnog sistema

Osnovni zadatak nekog skladišta se sastoji u ekonomskom usaglašavanju različito dimenzionisanih tokova tereta. **Motivi držanja skladišta mogu se prikazati kroz**:

- **Funkcija izjednačavanja** je značajna u slučaju pojave međusobnog odstupanja potrebe za materijalom i njegovog priticanja u količinskom smislu i/ili u odnosu na vremensku raspodelu.
- **Funkcija sigurnosti** je značajna u slučaju pojave nepredvidivih rizika u toku proizvodnje uz oscilacije potreba na tržištu prodaje i zakašnjenje isporuka na tržištu nabavke.
- **Funkcija razvrstavanja** je značajna kod oblikovanja asortimana robe u trgovini ili kod oblikovanja vrsta proizvoda u industrijskim preduzećima.
- **Špekulativna funkcija** je značajna u slučaju kada se očekuje povećanje cena na tržištu nabavke ili tržištu prodaje.
- **Funkcija dorade** je značajna u slučaju kada kod uskladištenih tereta dolazi do promene kvaliteta.

Na slici 9.2 prikazani su oblici povezivanja pojedinih procesa u logističkom sistemu angažovanjem skladišnog podsistema. Skladišni procesi se sa ostalim procesima po pravilu ne povezuju direktno, već angažovanjem transportnog podsistema, bilo unutrašnjeg bilo spoljašnjeg transporta.



Slika 9.2. *Povezivanje procesa*

Aktivnosti skladištenja su podrška:

- nabavci,
- obezbeđivanjem i čuvanjem nabavljenih materijala u ulaznim skladištima,
- procesu proizvodnje,
- čuvanjem poluproizvoda u procesnim skladištima,
- procesu isporuke,
- obezbeđivanjem i čuvanjem proizvoda.

Operacija prijema materijala su prikazane na slici 9.2. *Primarne funkcije skladišta su*:

- prijem nabavljenih količina,
- ulazna kontrola,
- skladištenje (smeštaj i sortiranje),
- čuvanje i održavanje u fazi čuvanja,
- pomeranje i premeštanje
- priprema za isporuku,
- isporuka,

- evidencija rada kroz sve navedene faze.

Cilj skladišnog sistema je skladištenje materijala za izvestan vremenski period. Tipovi materijala koji se skladište u većini proizvodnih firmi mogu da se svrstaju u tri kategorije kako je prikazano u tabeli 9.1. Različite skladišne metode i tehnike potrebne su za razne tipove. Većina proizvodnih fabrika upotrebljava ručne metode za deponovanje i povraćaj delova u i iz skladišta. Skladišna funkcija obično se izvršava po načinima koji su neefikasni i neadekvatni uslovima upravljanja. Automatizovani sistemi su raspoloživi za ona preduzeća koja su spremna da reše problem skladištenja.

Tabela 9.1. *Klasifikacija tipova materijala koji se tipično skladiste u fabrici*

Kategorija	Tip
1.Kategorija koja se odnosi direktno na proizvod	1.Sirovine 2.Kupljeni delovi 3.Proizvodnja u toku 4.Gotov proizvod 5.Dorada i škart
2.Kategorija koja je u vezi sa procesom	6.Alati 7.Rezervni delovi
3.Kategorija koja se odnosi na globalne podrške fabričkim operacijama	8.Kancelarijski pribor 9.Fabrička dokumentacija

Preduzeća imaju različite razloge za instaliranje automatizovanih sistema za skladištenje materijala.

Osnovne karakteristike po kojima mogu da se ocene automatizovani skladišni sistemi su:

- skladišni kapacitet;
- gotovost sistema;
- iskorišćenost i
- raspoloživost.

Skladišni kapacitet je ukupan maksimalan broj pojedinačnih tereta koji se očekuje da se skladišti. On se određuje preko veličine skladišnog sistema koja je povezana sa fizičkim veličinama broja komada i materijala u skladištu. U potpuno automatizovanom skladišnom sistemu, materijali se obično skladište u jedinične terete koji se drže u kontejneru standardne veličine (paletama, metalnim ili plastičnim kontejnerima itd). Standardni kontejner može lako da se tretira, transportuje i skladišti pomoću skladišnog sistema i pomoću automatizovanog transportnog sistema koji može da se poveže sa skladišnim sistemom. Fizički kapacitet skladišnog sistema treba da bude veći od stvarnog maksimalnog broja tereta koji će se držati da bi se obezbedili raspoloživi prazni prostori za materijale koji ulaze u sistem i da bi se dozvolile varijacije u maksimalnim skladišnim zahtevima.

Gotovost sistema predstavlja broj tereta po satu koji skladišni sistem moze da:

- primi i smesti u skladište i
- povrati i isporuči do izlaznog mesta.

Ove dve aktivnosti mogu da se učine odvojeno ili kombinovano u jednom ciklusu. Ciklusi se pominju kao skladišne transakcije. Skladišni sistem mora da se projektuje za maksimalnu potrebnu gotovost koja će doći u toku dana. U mnogim fabričkim i skladišnim operacijama biće izvesnih perioda u danu kada će mera potrebnih ulaznih/izlaznih transakcija sistema biti veća nego u drugim vremenima. Sistem treba da se projektuje za maksimalnu iskorišćenost materijalnih i ljudskih resursa.

Maksimalni kapacitet gotovosti automatizovanog skladišnog sistem biće ograničen preko potrebnog vremena za izvršenje skladišne transakcije.

Transakciono vreme za skladištenje sastavljeno je od vremena:

- prihvatanja tereta na ulazno mesto,
- definisanja skladišne dokumentacije,
- transporta do skladišne lokacije,
- istovara na skladišnoj lokaciji i povratnog transporta.

Vremenski ciklus skladištenja sastavljen je od:

- vremena za odredjivanje skladišne lokacije dela,
- transporta do skladišne lokacije,
- prihvatanja dela iz skladišta,
- povratnog transporta i vremena istovara na izlazno mesto.

Materijalno obezbeđenje i motivacija radnika u skladištu posebno utiču na ova vremena.

Cilj automatizacije skladišne funkcije je skraćivanje navedenih vremena, smanjenje angažovanja ljudskog resursa i podizanja nivoa kvaliteta skladišnih funkcija.

Sposobnost skladišta za prihvat materijala je direktno zavisna od sposobnosti sistema unutrašnjeg transporta. Veći kapacitet unutrašnjeg transporta unapređuje vreme transakcionog ciklusa i sposobnost skladišnog sistema.

Stepen iskorišćenosti skladišnog sistema predstavlja odnos vremena kada je sistem u upotrebi u odnosu na vreme kada je on raspoloživ u procentima. Poželjan je relativno visok stepen iskorišćenosti skladišnog sistema u intervalu od 80 do 90%. Mali stepen iskorišćenosti nam ukazuje na predimenzionisanost skladišnog sistema.Visok stepen iskorišćenosti govori nam da nema gubitaka i kvarova tehnickih sistema.

Raspoloživost predstavlja meru pouzdanosti automatizovane proizvodne opreme. Raspoloživost R se definiše pomoću:

- srednjeg vremena između otkaza SVO,

- srednjeg vremena za popravku SVP,
- srednje efektivno radno vreme SRV (prosečna dužina vremena rada između kvarova predmeta opreme.

$$R = \frac{SVO - SVP}{SRV} [\%]$$

Neispravnost opreme, kako mehaničke tako i elektronske prouzrokuje prekide koji sprečavaju rad sistema.

Neki od razloga za nastanak prekida su: mehanički kvarovi, računarski otkazi, zastoji tereta u sistemu, nepravilno održavanje i neispravni postupci od korisnika sistema. Skladišni sistem se projektuje na takav način da neispravnost neke od komponenti ili dela ne prouzrokuje neispravnost i prestanak rada čitavog sistema.

Pouzdanost sistema može da se poboljša preventivnim održavanjem i popravkom delova kritičnih komponenti u sistemu.

9.2. Tipovi opreme skladišnih sistema

Automatizovani skladišni sistemi se opremaju sa mehanizmima koji redukuju ljudski rad i humanizuju operacije u skladištima. Karakteriše ih: velika početna ulaganja i promenljivi nivo automatizacije (učešće mehanizama u operacijama i transakcijama u skladištima, dok u visoko automatizovanim sistemima teret se kompjuterski kontroliše na ulasku i izlasku iz skladišta).

Automatizovani skladišni sistemi mogu biti:

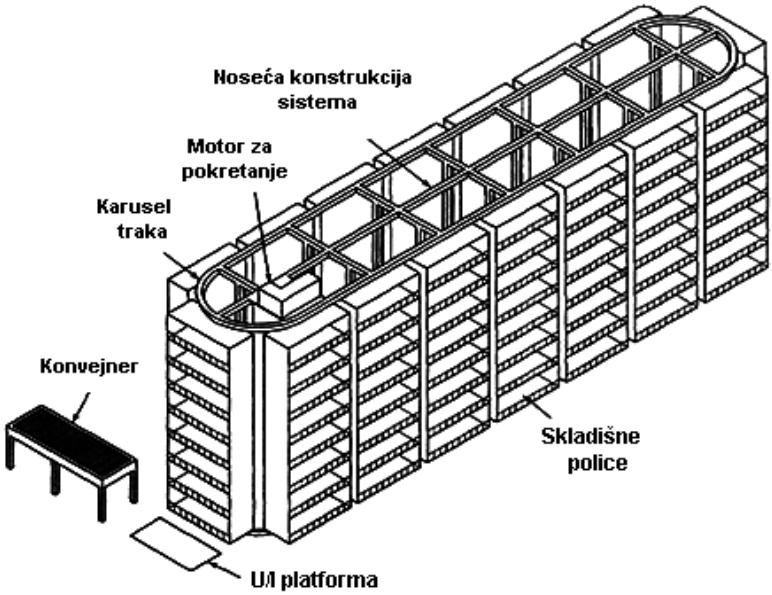
- karuselski (kružni) sistemi za skladištenje,
- sistemi automatizovanog uskladištenja/iskladištenja (AS/RS).

Karuselski skladišni sistem predstavlja niz sanduka ili korpi pričvršćenih na nosače koji su zajedno povezani i obrću se oko izdužene, ovalne staze sistema, slika 9.3. Staza sistema je slična konvejerskom sistemu sa trolom. Njegov cilj jeste da pozicionira sanduke na mesto utovara/istovara. Rad skladišnog karusela je težišno mehanizovan.

Na utovarnom i istovarnom mestu angažuje se ljudska radna snaga koja aktivira pokretanje karusela da bi se željeni sanduk isporučio do mesta. Mesto utovara/istovara može da se automatizuje:

- sanduci se automatski iskladište pomoću robotskog uredaja;
- sanduk se otprema posredstvom konvejera do udaljenog mesta radi komisioniranja porudžbine;
- sanduk se vraća do karuselskog sistema pomoću konvejera – robotski uređaj automatski uskladišti sanduk na karusel.

Mehanizam automatizovanog izvlakača sastavljen od trakastog transportera postavljenog na elevator predstavlja drugi mogući karuselski sistem.



Slika 9.3. *Karuselski skladišni sistem*

Upotrebom računara skladišni sistemi se integrišu u proizvodni proces. Automatizovano uskladištenje/iskladištenje (AS/RS) utiče na projektovanje samih skladišta. Težište AS/RS je na snabdevanju proizvodnje utoku sa sirovinom ili poluproizvodom.

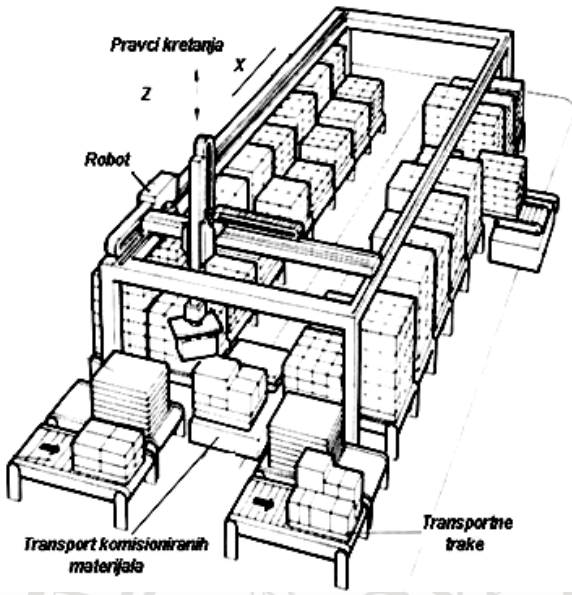
9.3. Sistemi automatizovanog uskladištenja i/ili iskladištenja

Veliki pomak u razvoju dogodio se na području potpune automatizacije transportnih sistema, slika 9.4. Potpuno automatizovan transportni sistem u stanju je da prati poslate posude od identifikacionog mesta za odlaganje određenih artikala uzetih iz visokoregalnog skladišta, da ih zaustavi na pokretnoj traci na mestima gde se roba uzima i posle uzimanja ponovo da transportuje posudu do mesta otpremanja.

Transportni putevi robe unutar skladišta mogu se brzo proračunati uz pomoć upravljačkog računara: odgovarajući transportni nalozi upućuju se vozačima viljuškara ili transportno manipulativnih vozila preko bord kompjutera ili preko decentralizovanih računara koji čine potpuno automatizovan transportni sistem.

Automatizovana regalna skladišta mogu biti:

- *Jedno teretni* – veliki automatizovani sistemi sa paletnim teretima;



Slika 9.4. *Potpuno automatizovan skladišni sistem*

- *Duboki linijski* – kretanje kroz regal sa bočnog ulaza;
- *Maloteretni* – mali ručni tereti sanduci sa fiokama;
- *Čovek na platformi* – humane operacije ljudi u skladištu sa pojedinačnim izborom;
- *Automatski pojedinačni sistemi za pretraživanje* – sistemi za individualna pretraživanja;
- *Vertikalni dizalični skladišni modul* – vertikalni bočni i horizontalno bočni tipovi skladišta.

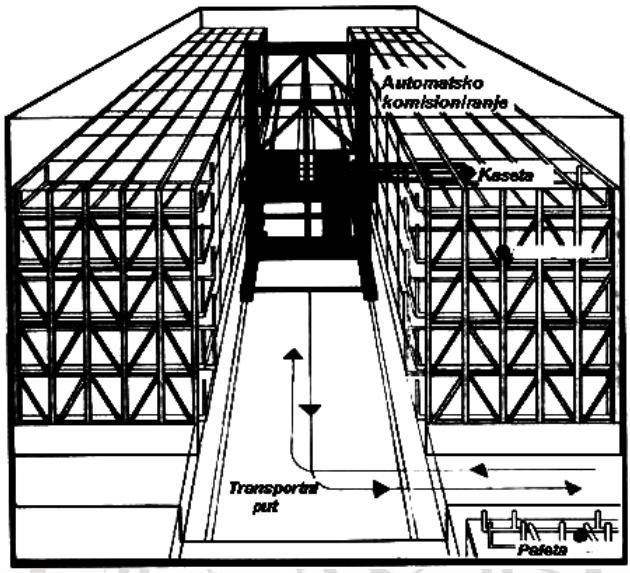
Automatizovani skladišni sistemi se primenjuju kod jedinačnih skladišnih tereta i zanavljanja (skladištenje i operacije distribucije). Mogu biti jednoteretni i sa linijskim kretanjem. Prednost ovih skladišta je velika čistoća zgrada. Radni procesi u skladištu su:

- pomoć pri upravljanju u fabričkim operacijama,
- predstavljaju bafer skladišta između različitih proizvodnih operacija,
- podrška JIT proizvodnoj strategiji.

Automatizovani pokretni skladišni sistemi mogu biti:

1. *Horizontalni* koji se primenjuju za iste operacije uz primenu transportnih traka i uz pojedinačno zaustavljanje transportnih traka. Dužina obilaznica od 3 do $30\,\mathrm{m}$. Razlikuje se veliki tip horizontalnih skladišnih sistema.

2. *Vertikalni* se primenjuju za operacije oko vertikalne petlje transportne trake. Zauzimaju manju površinu, a veću zapreminu.



Slika 9.5. *Duboko linijski automatizovan skladišni sistem*

Razlikujemo sledeće tipove automatizovanih skladišta:

- Automatizovana skladišta koji predstavljaju regalni sistemi sa mehanizmima ili automatizovanim dizalicama (kranovima) za skladišta/zanavljanje tereta.
- Pokretni skladišni sistem predstavlja ovalne transportne trake (konvejner sisteme) sa sanducima za pojedinačne artikle.

Kod automatizovanih regalnih skladišta pojedinačno tereti se automatizovanim kretanjem sa bočnog ulaza usmeravaju kroz sredinu skladišta.

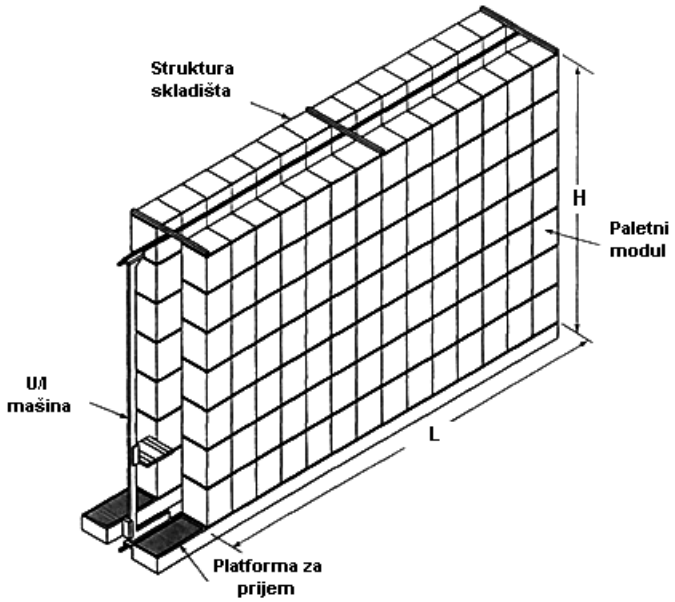
Pokretni (okretni) skladišni sistemi omogućuju:

- Brže i efikasnije skladišne i operacije pretraživanja (lakši izbor, montaža delova);
- Efikasniji transport i akumulacija materijala (montaža na predviđenim lokacijama u toku kretanja);
- Realizacija radnih procesa (primer u elektronskoj industriji);
- Jedinstvena primena uz realizaciju kontrolne funkcije.

Sistem automatizovanog uskladištenja/iskladištenja predstavlja kombinacija transportnih i utovarno/istovarnih tehnologija i automatskog upravljanja i nadzora transporta, uskladištenja i iskladištenja materijala. Ove aktivnosti se realizuju sa velikom brzinom, preciznošću, tačnošću i definisanim stepenom automatizacije. Sistemi AS/RS planiraju se

po kupcu za svaku pojedinačnu primenu. Oni mogu biti delimično mehanizovani sistemi do potpuno računarski upravljanih sistema koji su integrisani sa operacijama proizvodnje i skladišta.

Mašine za uskladištenje/iskladištenje (U/I) se kreću kroz skladišne prolaze. Obično se upotrebljava jedna U/I mašina po prolazu. Raspored tipičnog AS/RS dat je na slici 9.6. Prolazi na obe strane imaju skladišne police za držanje materijala koji se skladišti.



Slika 9.6. *Raspored tipičnog AS/RS*

Sistemi automatizovanog uskladištenja/iskladištenja mogu se podeliti na:

- **AS/RS jediničnog tereta** – predstavlja veliki automatizovani sistem projektovan za rukovanje jediničnim teretima uskladištenim na paletama ili na standardnim kontejnerima. Sistem se računarski upravlja, a utovar /istovar se realizuje automatizovanim mašinama.

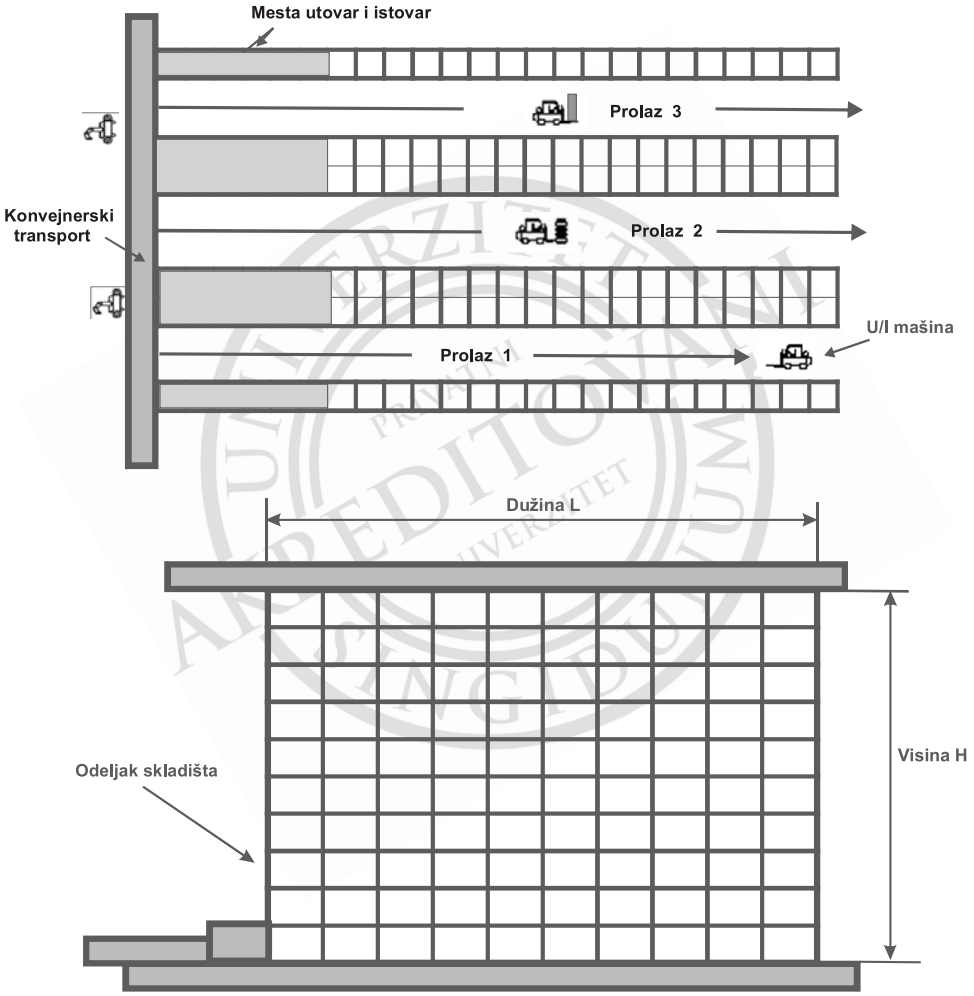
- **Miniteretni AS/RS** – upotrebljava se za rukovanje malim teretima za pojedinačne delove koji se smeštaju u sanduke ili fioke unutar skladišnog sistema. Miniteretni sistemi AS/RS je manji od AS/RS za jedinični teret i često se ograđuje zbog sigurnosti uskladištenih komada. Na slici 9.7. prikazan je raspored i visina tipično AS/RS za jedinični teret.

- **AS/RS sa čovekom na utovarnoj i/ili istovarnoj mašini** – omogućuje uskladištenje i/ili iskladištenje pojedinačnih komada na skladišnim lokacijama uz redukciju transakcionog vremena sistema.

- **Automatizovani sistem za iskladištenja komada** – omogućuje iskladištenje pojedinačnih komada i malih jediničnih tereta kao što su kutije proizvoda u distribu-

tivnom skladištu. Komadni teret se skladišti po stazama sa jednim redom radi lakšeg iskladištenja i slobodnog toka što omogućuje upravljanje zalihama po pravilu prvi prispeo, prvi opslužen (FIFA).

- **AS/RS sa dubokim stazama** – omogućuje skladištenje jediničnog tereta sa velikom gustinom, velikim količinama, a malim brojem tipova materijala.



Slika 9.7. *Raspored i visina tipičnog AS/RS za jedinični teret*

9.3.1. Kvantitativna analiza

Visina i dužina skladišnog prolaza zavisne su od broja skladišnih odeljaka. Ako je a broj teretnih odeljaka koji se ređa vertikalno, a n broj teretnih odeljaka koji se ređa horizontalno

po prolazu, tada je ukupni kapacitet bilo kog skladišnog prolaza u AS/RS:

$$K = 2 \cdot a \cdot n$$

Ako x predstavlja horizontalnu, a y vertikalnu dimenziju jediničnog tereta, tada je visina i dužina AS/RS prolaza, slika 9.3:

$$L = n\,(x + 20,32\,cm)$$
$$H = a\,(y + 25,4\,cm).$$

Dimenzije AS/RS prolaza su njegova dužina i visina, L i H, a prosečne brzine horizontalnog i vertikalnog putovanja utovarno istovarne mašine su V_h i V_v.

Potrebno vreme horizontalnog i vetrtikalnog putovanja punom dužinom i visinom skladišnog sistema je

$$t_h = \frac{L}{V_h} \quad \text{i} \quad t_v = \frac{H}{V_v}$$

Ciklus U/I počinje na mestu ulaza/izlaza sa koordinatama $(0, 0)$. Dvokomponentni ciklus U/I mašine je sastavljen od tri koraka:

- Isporučivanje jediničnog tereta od ulazne/izlazne tačke do praznog odeljka (koordinate a i b);
- Putovanje od odeljka uskladištenja do potrebnog odeljka iskladištenja (koordinate c i d);
- Isporuka iskladištenog jediničnog tereta nazad do ulazno/izlazne tačke.

Ukupno vreme dvokomponentnog ciklusa U/I mašine T_2 je:

$$T_2 = t_1 + t_2 + t_3 + t_o(s)$$

gde su

$$t_1 = max\left\{\frac{a}{V_h}, \frac{b}{V_v}\right\}$$
$$t_2 = max\left\{\frac{|c-a|}{V_h}, \frac{|d-b|}{V_v}\right\}$$
$$t_3 = max\left\{\frac{c}{V_h}, \frac{d}{V_v}\right\}$$

i $t_o(s)$ je vreme za izvršavanje, prihvatanje ili deponovanje.

9.4. Skladištenje proizvodnje u toku

Proizvodnja u toku (PT) je iznos proizvoda koji se trenutno nalazi u fabrici, koji se ili obrađuje ili je između operacija obrade. Proizvodnja u toku predstavlja zalihe koja su u

stanju transformisanja od sirovine do finalnog proizvoda, slika 9.3.

Gruba mera proizvodnje u toku moze da se dobije iz sledeće formule:

$$N = \frac{K \cdot \eta}{S \cdot H} \cdot T$$

gde su:

- N – broj jedinica u toku (jed);
- K – kapacitet proizvodnje $(\mathrm{jed}/\mathrm{ned})$;
- η – iskorišćenost;
- S – broj smena po nedelji $(\mathrm{sm}/\mathrm{ned})$;
- H – prosečan broj radnih sati po smeni (h/sm);
- T – vreme upravljanja proizvodnjom (h).

Formula pokazuje da će nivo proizvodnje u toku biti jednak meri po kojoj delovi protiču kroz fabriku pomnoženoj sa dužinom vremena koju delovi provedu u fabrici. Jedinice za $(K \cdot \eta)/(S \cdot H)$ je $(\mathrm{del}/\mathrm{ned})$, a za vreme upravljanja proizvodnjom T (ned).

Proizvodnja u toku predstavlja investiciju za preduzeće, ali onu koja ne može da se pretvori u profit dok se ne završi obrada. Mnoga proizvodna preduzeća održavaju velike troškove, jer proizvodnja u toku ostaje isuviše dugo u fabrici.

Ako se analizira vremenski tok materijali u tipičnoj metalo-prerađivačkoj fabrici srednjeserijske proizvodnje potroše više vremena u mirovanju ili kretanju nego u obradi.

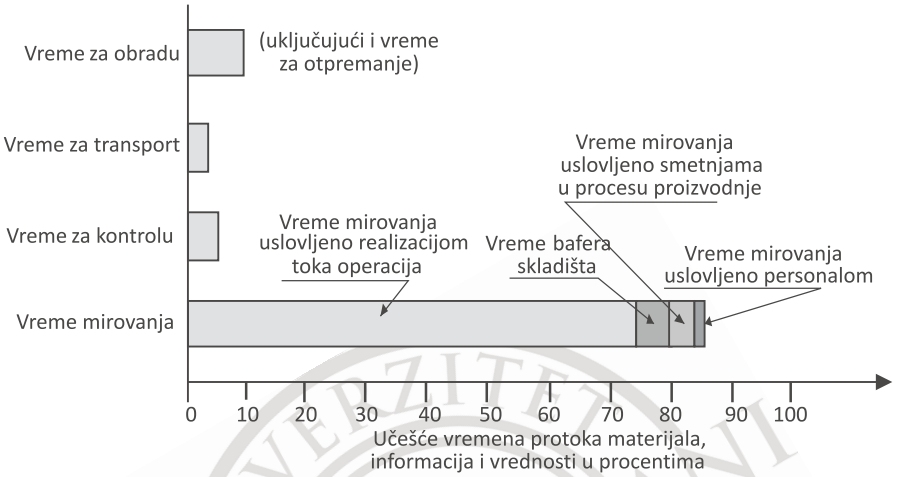
Oko osamdeset pet posto vremena radni deo potroši se ili za kretanje, kontrolu ili mirovanje.

Ove vremenske proporcije dokaz su neefikasnosti po kojima se upravlja proizvodnja u toku u fabrici.

Konvejerski sistemi više se upotrebljavaju u velikoserijskoj proizvodnji, nego u srednjeserijskoj, maloserijskoj i pojedinačnoj proizvodnji. Karuselski sistemi se najčešće primenjuju za uskladištenje proizvodnje u toku u proizvodnim pogonima. Izvesni tipovi konvejerskih sistema (neprekidna petlja, pogonski i slobodni) služe i funkciji isporuke i funkciji skladištenja, pa usled toga mogu, takođe, da se uključe u kategoriju skladišnih sistema.

U srednjeserijskoj, maloserijskoj i pojedinačnoj proizvodnji, tipična proizvodna ćelija unutar fabrike ima u neposrednoj blizini nekoliko tipova proizvodnje u toku. Ćelija trenutno obrađuje neku porudžbinu. Neke od porudžbina delova čekaju obradu u ćeliji. Mogu da se nađu jedna ili više porudžbina koje su završene od strane ćelije, koje čekaju da se transportuju do sledeće operacije. Svaka porudžbina sastoji se bar od jednog dela, ponekad od mnogo delova. Nije neobično za fabriku srednjeserijske proizvodnje da ima stotine porudžbina u toku. Sve ove porudžbine delova predstavljaju proizvodnju u toku. Opasnosti i nedostaci od držanja mnogo delova u radionici uključuju nedostatak kontrole nad zalihama, vreme potrošeno u traganju za delovima, delove ili čitave izgubljene porudžbine,

porudžbine koje se ne obrađuju prema relativnim prioritetima na svakoj proizvodnoj ćeliji i delove koji u fabrici provode više vremena nego što je potrebno.



Slika 9.8. *Vremenski tok materijala kroz fabriku*

Za fabrike srednjeserijske, maloserijske i pojedinačne proizvodnje automatizovani skladišni sistemi za proizvodnju u toku predstavljaju sistematičnu alternativu neorganizacionim metodama koje su bile obično praktikovane za upravljanje proizvodnjom u toku. Razlozi koji opravdavaju ugradnju automatizovanih skladišnih sistema za proizvodnju u toku su sledeći:

1. **Prikupljanje delova za montažu**. Skladišni sistem upotrebljava se za skladištenje delova za montažu proizvoda ili njegovih podsklopova. Kada se primi porudžbina za montažu, potrebne komponente se iskladište iz skladišta, sakupljaju u palete i isporučuju do proizvodne radionice za montažu.

2. **Sastavni deo u progresivnom montažnom sistemu**. Karuselski skladišni sistemi ponekad se upotrebljavaju u montažnom sistemu kao mehanizam za skladištenje i isporuku. Radna mesta locirana oko karusela koji se neprekidno kreće, za vreme toka montažnih operacija, utovaruju i istovaruju delove iz skladišnih sanduka.

3. **Podrška pravovremenoj proizvodnji**. Suština koncepta pravovremene proizvodnje (JIT: *Just-In-Time*) je u tome da delovi potrebni za proizvodnju najpre prime neposredno pre nego što su potrebni u proizvodnji. To rezultira velikom zavisnošću fabrike od njenih dobavljača za isporuku delova u pravo vreme. Da bi se smanjili rizici povezani s pristupom blagovremene proizvodnje, neke fabrike se opredeljuju za upotrebu AS/RS kao međuskladišta za dolazeće materijale.

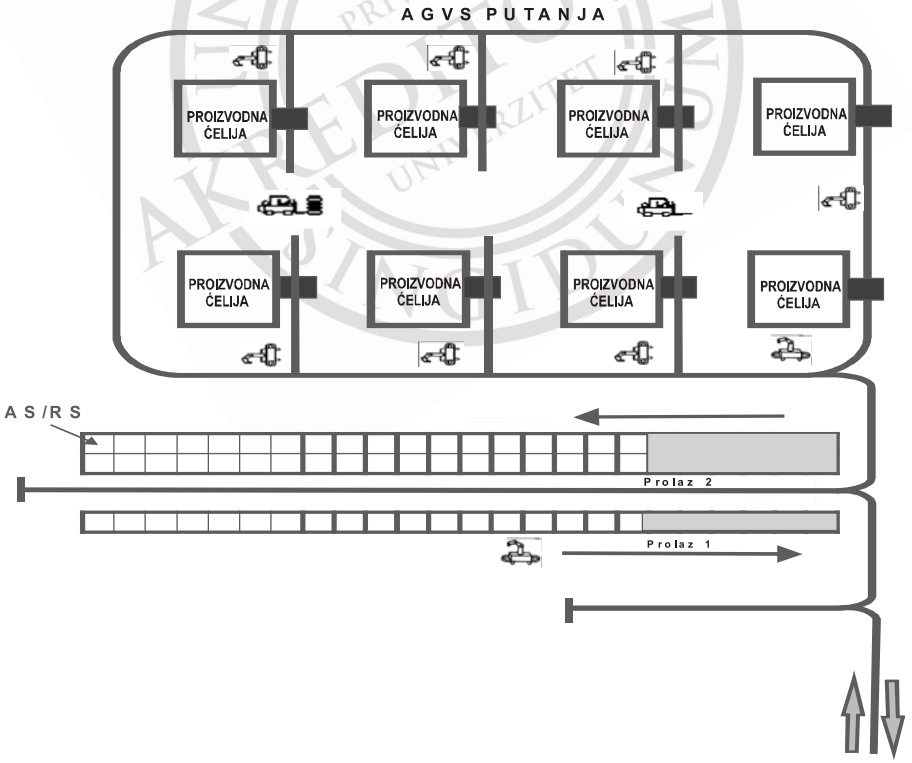
4. **Međuskladište**. Automatizovani skladišni sistemi mogu da se upotrebljavaju kao međuskladišna zona između dva (ili više) procesa čije se mere proizvodnje značajno razlikuju. Međuskladište u toku proizvodnje potrebno je za skladištenje delova izmedu dva procesa.

5. **Kompatibilnost sa sistemima automatske identifikacije**. AS/RS se projektuje da bude kompatibilan sa sistemom automatske identifikacije kao što su RIFID i bar kod tehnologije.

6. **Kontrola i praćenje materijala**. Upotreba automatizovanog sistema za skladištenje proizvodnje u toku obezbeđuje bolju kontrolu. U kombinaciji sa sistemom automatske identifikacije on omogućava da lokacije svih materijala budu poznate.

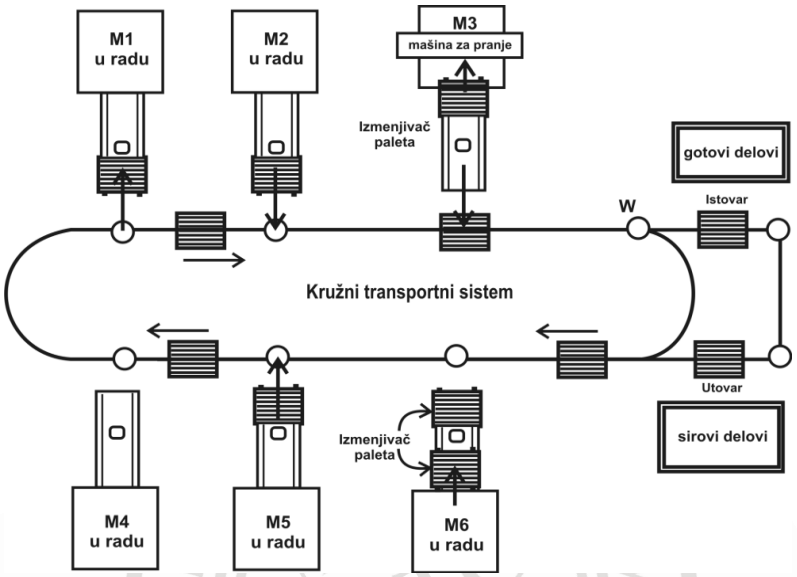
7. **Podrška automatizaciji šire fabrike**. Upotreba automatizovanog skladišnog sistema za proizvodnju u toku smatra se bitnom komponentom u potpuno automatizovanoj fabrici za srednjeserijsku proizvodnju. Skladišni sistem u fabrici biće centralno i pogodno lociran i povezan sa jednim ili više sistema unutrašnjeg transporta zbog distribucije delova do raznih proizvodnih ćelija u fabrici.

Moguće konfiguracije skladišnih sistema proizvodnje u toku i njihov odnos sa proizvodnjom prikazani su na slici 9.9. AS/RS za proizvodnju u toku upotrebljen za isporuku jediničnih tereta do proizvodnih ćelija u fabrici. AGVS može da se upotrebi za isporuku jediničnih tereta (pojedinačnih delova na paletama ili prenosnih posuda za delove) do pojedinih proizvodnih ćelija u fabrici srednjeserijske proizvodnje.



Slika 9.9. *AS/RS za proizvodnju u toku*

Slika 9.10. prikazuje kako se u mehanizovanom montažnom sistemu locira skladišni karusel sa neprekidnim kretanjem s obzirom na njegove ćelije.



Slika 9.10. *Karuselsko skladište upotrebljeno za montažne ćelije*

9.5. Povezivanje transporta i skladištenja sa proizvodnjom i razlozi automatizacije skladišta

Izučavanje unutrašnjeg transporta i skladištenja zaključuje se razmatranjem problema koji se susreću u spajanju ovih raznovrsnih sistema sa proizvodnom funkcijom. Ovi problemi međusklopa (interfejsa) mogu da se podele u sledeće dve kategorije:

1. informacioni međusklop; i
2. mehanički međusklop.

Informacioni međusklop odnosi se na tok informacija koji mora pratiti kretanje i skladištenje materijala u fabrici. On obuhvata probleme identifikacije i praćenja materijala, upravljanje zalihama, planiranje proizvodnje i potrebne komunikacije podataka za koordiniranje i upravljanje raznim sistemima u fabrici. To je jedan od većih problema koji se pripisuju računarski integrisanoj proizvodnji.

Mehanički međusklop tretira probleme transport delova i tereta između skladišnih sistema, sistema unutrašnjeg transporta i proizvodnih sistema. Funkcija transporta tereta sastavni je deo nekog sistema unutrašnjeg transporta. Mehanički međusklop zavisi od tipa transportne opreme koja se upotrebljava, sistema koji se povezuje sa transportnim sistemom i od toga da li se procedura utovara/istovara vrši ručno ili automatski. Detaljna analiza mehaničkog međusklopa obično uključuju dve oblasti problema:

1. poziciona tačnost transportnog sistema na mestu prenosa, i
2. metode tarnsporta delova ili tereta do i od transportnog sistema.

Objektivni razlozi za automatizaciju skladišnih operacija je:

- Povećanje kapaciteta skladišta;
- Povećanje gustine skladišta;
- Povećanje ukupne iskorištenosti fabričkog prostora;
- Povećanje sigurnosti u radu i smanjenje štete i otuđenja;
- Povećanje produktivnosti i redukcija ljudskog rada;
- Povećanje bezbednosti u radu i poboljšanje kontrole inventara;
- Poboljšanje zanavljanja zaliha;
- Unapređenje servisa kupcima;
- Povećanje dostupnosti i transportnih puteva.

UNIVERZITET PRIVATNI AKREDITOVANI UNIVERZITET SINGIDUNUM



Slika 9.11. *Fleksibilni automatizovani skladišni sistemi*

Glava 10

Automatska identifikacija i zapisi podataka

Automatska identifikacija je tehnologija koja omogućava mašinama (u najširem smislu) da identifikuju objekte. Automatska identifikacije je uvek povezana sa automatskom akvizicijom podataka, odnosno zahvatanjem podataka i njihovim prosleđivanjem za dalju (uglavnom računarsku) obradu bez posredstva operatera. Glavne tehnologije koje spadaju u automatsku identifikaciju su: barkod, prepoznavanje oblika i identifikacija pomoću radio talasa - RFID, smart kartice, prepoznavanje glasa, neke biometrijske metode (na primer, identifikacija pomoću retine) itd.

10.1. Značaj automatske identifikacije za lance snabdevanja

Efikasno funkcionisanje lanca snabdevanja kao i svih logističkih aktivnosti nije moguće bez praćenja i upravljanja informacionim i materijalnim tokovima. Kako bi odgovorile na sve oštrije zahteve tržišta, kompanije su prinuđene da u svoje poslovanje uvode savremene informacione tehnologije. Primenom informacionih tehnologija obezbeđuje se neometan informacioni i robni tok pomoću kojih je moguće ostvariti proizvodnju proizvoda i usluga visokog kvaliteta. Nove informacione tehnologije uvele su revoluciju u mnoge firme, menjajući iz korena način poslovanja. Rezultat ovoga je veći promet, veći obrt robe, efikasnije poslovanje, smanjenje troškova, povećanje zadovoljstva klijenata itd.

Najpoznatiji oblik elektronskog prikupljanja podataka je sistem automatske identifikacije. Sistem automatske identifikacije obezbeđuje prikupljanje i ažuriranje velikog broja podataka u malim vremenskim intervalima. Tehnologije za automatsku identifikaciju i prikupljanje podataka donose značajne koristi u oblasti logistike.

Najrasprostranjeniji sistem za automatsko prikupljanje podataka je barkod. Ona je najzastupljenija u maloprodaji i skladišnim sistemima. Prednosti primene ove tehnologije je u smanjenju troškova vezanih za postojanje zaliha, troškova koji nastaju usled nedostatka zaliha i troškova naručivanja, minimizaciju pojavljivanja grešaka i ubrzanje procesa praćenja zaliha.

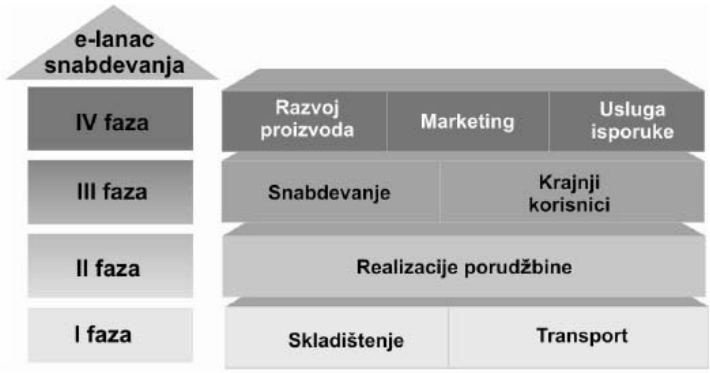
Fuzija koncepta barkoda i fenomena mobilnih komunikacija obećava sledeći talas ino-

vacije u domenu mobilnih servisa i revoluciju u mnogim oblastima industrije počevši od marketinga kome otvara jedan potpuno novi kanal za komunikaciju sa tržištem, pružanja usluga itd.

Lanac snabdevanja počinje sa neobrađenim sirovinama i završava se upotrebom gotovih proizvoda od strane krajnih korisnika. On podrazumeva razmenu materijala i informacija u logističkim procesima koja obuhvata sve od prikupljanja sirovina do isporuke gotovih proizvoda krajnjem korisniku. Lanac snadbevanja se može definisati i kao povezivanje kompanija koje podržavaju realizaciju materijalnih i sa njima povezanih informacionih i finansijskih tokova od mesta snabdevanja sirovinama i drugim potrebnim materijalima za proces proizvodnje, do mesta potražnje tj. do krajnjeg korisnika.

Sredinom XX veka, u okviru preduzeća, stavljen je akcenat na proizvodnju. Prvenstveni cilj bio je snižavanje troškova proizvodnje, pa samim tim i cene proizvoda, dok su ostale aktivnosti bile u drugom planu. Ovakva orjentacija je za posledicu imala veliki broj proizvoda na tržištu i u velikim količinama, što je dovelo do određenog nivoa zadovoljenja zahteva krajnjih korisnika. Zasićenje tržišta brojnim proizvodima dovelo je i do postepenog pojačavanja konkurentnosti među kompanijama, tako da ni napredna proizvodna tehnologija nije bila dovoljna za privlačenje korisnika. Vođeni ovim iskustvom, proizvođači su počeli da se okreću ostalim logističkim procesima koji su se pojavljivali na putu od sirovina do krajnjeg korisnika. Tada počinje da se formira ideja o lacima snabdevanja.

Nastanak, odnosno evolucija lanca snabdevanja može se podeliti u 4 faze, što je prikazano na slici 10.1.



Slika 10.1. *Faze razvoja lanca snabdevanja*

U prvoj fazi, 1976 godine, uočena je međusobna zavisnost između transporta i skladištenja pa je pristupljeno njihovoj integraciji u takozvano "upravljanje fizičkom distribucijom". Fizička distribucija predstavlja izraz kojim se definiše integracija dve ili više aktivnosti u cilju planiranja, implementacije i kontrole efikasnosti toka sirovina, zaliha poluproizvoda i gotovih proizvoda od izvorišne tačke do tačke potrošnje. Efekti koji su postignuti integracijom su:

- Uspostavljena je bolja informaciona povezanost između skladišta različitih nivoa (fabrička skladišta, distributivni centri i slično);

- Omogućeno je jasnije sagledavanje svih bitnih faktora koji utiču na donošenje kompleksnih odluka u okviru menadžmenta;
- Smanjenje nivoa zaliha u skladištima zbog brže, frekventnije i pouzdanije realizacije transporta;
- Skraćeno vreme realizacije aktivnosti vezanih za zadovoljenje zahteva korisnika (skraćen je interval porgnoziranja i veća tačnost rezultata prognoze);
- Povećan kvalitet usluge i sniženi ukupni troškovi usled zajedničkog praćenja aktivnosti transporta i skladištenja i optimizacije lokacija skladišta;
- Omogućeno je sprovođenje kompleksnih analiza (na primer, za određivanje ukupnih skladišno-transportnih troškova, za optimizaciju mreže skladišta i slično).

U drugoj fazi razvoja lanca snabdevanja, 1980. godine, pored skladištenja i transporta naglašava se i važnost funkcije realizacije porudžbine. Ovu fazu karakterišu začeci elektronske razmene podataka, poboljšanih komunikacionih tehnologija, hardvera i softvera. industrije počevši od marketinga kome otvara jedan potpuno novi kanal za komunikaciju sa tržištem, pružanja usluga itd.

1990. godine, razvijen je model koji predstavlja treću fazu razvoja, a koji pored skladištenja, transporta i realizacije porudžbine uvodi i snadbevanje i krajnje korisnike. U ovoj fazi lanac se produžava. Stvara se svest o tome da je krajnji korisnik inicijator svih aktivnosti, a da proizvođači teško nameću svoju volju. industrije počevši od marketinga kome otvara jedan potpuno novi kanal za komunikaciju sa tržištem, pružanja usluga itd.

Lancu se dodaju snabdevači sa jedne stane, a krajnji korisnici sa druge. S obzirom da lanac snabdevanja postaje sve kompleksniji, pojavljuje se upravljanjem integrisanim lancima snabdevanja, praćeno podrškom savremenih informacionih tehnologija:

- Prenosa, obrade i razmene elektroniskih podataka;
- Elektronskim prenosom finansijskog kapitala;
- Komunikacijama širokog dometa;
- Kompjuterizovanim DSS (Decision Support System) sistemom (sistemom za podršku odlučivanju) u oblasti planiranja i operative, odgovarajućim obrazovanjem kadrova i slično.

Četvrta faza razvoja lanca snabdevanja pored do sadašnjih aktivnosti uključuju se i razvoj proizvoda, marketing i usluga korisnicima. Danas razvoj lanca snabdevanja, obuhvata nove definicije lanca snabdevanja i logistike.

Lance snabdevanja podržavaju napredne komunikacije, kompjuterizovani sistem za podršku odlučivanju (DSS), neprekidna obuka kadrova, Internet, elektronska trgovina i elektronsko plaćanje.

10.2. RFID tehnologija u logističko-distributivnim centrima

Kada govorimo tehnologijama automatske identifikacije na prvom mestu je svakako "moderna" **RFID** tehnologija – tehnologija **R**adio-**F**rekventne **ID**entifikacije (Radio Frequency IDentification – slobodno prevodeno znači identifikacija korišćenjem radio talasa, odnosno bežičnim putem).

Za bilo koju kompaniju, ključni trenutak je izbor odgovarajućeg softversko-logističkog rešenja. Glavna dilema je praviti sopstveno rešenje, po "vlastitoj meri", vlastitim snagama ili angažovanjem outsource kompanije, ili opredeliti se za isprobano, u praksi dokazano, specijalizovano softversko-logističko rešenje i odgovarajućeg partnera za implementaciju tog rešenja sa obaveznom integracijom u poslovni informacioni sistem (ERP).

Međutim, u logističkom sistemu značajno mesto zauzimaju i savremena tehnološka rešenja, primena tehnologija automatske identifikacije i automatskog obuhvatanja podataka, specijalizovana hardverska i softverska oprema (bar-kôd skeneri, mobilni računari, wireless infrastruktura, bar-kôd printeri, RFID sistemi, softveri za razvoj mobilnih aplikacija, softveri za upravljanje mobilnom opremom, specijalni interfejsi koji povezuju heterogene sisteme korisnika), s jedne strane, i softverske kompanije, isporučioci logističkih rešenja, s druge strane. To su poslovi za sistem integratora specijalizovanog za mobilno računarstvo, sa visokim kompetencijama za tu oblast.

Problem, koji se danas nastoji rešiti uvođenjem RFID tehnologije, je - kako pratiti jedinstveni proizvod od njegovog nastanka do krajnjeg potrošača. *Standardni barkod identifikuje samo proizvođača i proizvod, ali ne i jedinstveni artikal.* Barkod na omotu čokolade je isti na svakom omotu iste vrste čokolade, pa je nemoguće putem samog barkoda izdvojiti tačno određeni proizvod. RFID transponder, naprotiv, nosi identifikator, tj. serijski broj jedinstven samo za taj specifični proizvod. RFID predstavlja sistem daljinskog slanja i prijema podataka pomoću RFID tagova/odašiljača.

Treba znati da RFID nije nova tehnologija. Naprotiv, RFID tagovi, antene i čitači u praktičnoj primeni su od kraja 80-tih godina prošlog veka. Jedan od bitnih razloga što RFID nije danas u (tako) masovnoj upotrebi jeste, pre svega, visoka cena RFID tagova i visoka cena RFID čitača. Početkom ovog veka, zahvaljujući velikim svetskim kompanijama kao što su Wal-Mart, Gillett, Procter & Gamble, Coca Cola, Metro, Siemens, Philips, Texas Instruments, Symbol Technologies, Datamx, Zebra i drugim, koje su, najpre kao sponzori, finansirale razvoj, a zatim postale i prvi veliki kupci i korisnici RFID tagova (radi se o količinama od više milijardi tagova), cena tagova postala je, koliko toliko, prihvatljiva. Međutim, očigledno da samo prihvatljiva cena još uvek nije bila dovoljna za masovnu rasprostranjenost primene RFID tehnologije i tagova.

Aplikacije, idealne za primenu RFID tehnologije, su one za koje je potrebna sigurna i jedinstvena identifikacija, kao i dugotrajnost i velika otpornost identifikatora na razne specifične uticaje okoline, a nije potrebna direktna vidljivost identifikatora. U različitim okruženjima, RFID postiže $99,5$ do 100% očitavanja u prvom skeniranju.

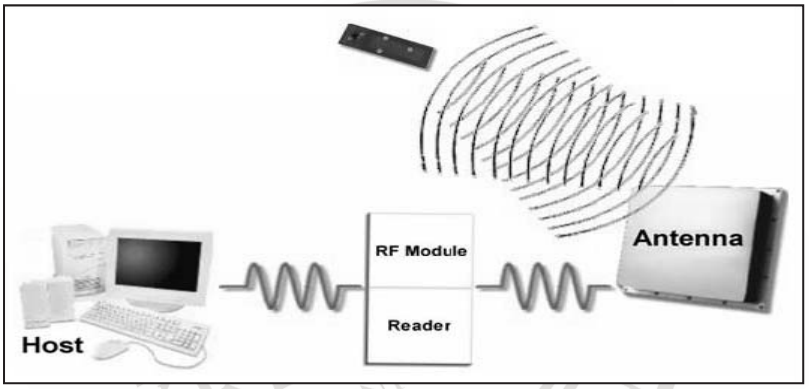
Pored jednostavnog korišćenja RFID je jednostavan i za održavanje zato što ne pose-

duje pokretne delove, kao ni optičke komponente. Njegova primena i standardizacija još uvek su u početnoj fazi. Za sada RFID ne mora u potpunosti zameniti postojeći sistem identifikacije i praćenja baziran na barkodu, ali ga može uspešno dopunjavati.

10.2.1. Tehnološke komponente RFID sistema

Svaki RFID sistem čine tri osnovna elementa, slika 10.2:

- transponder,
- čitač,
- kontroler (host).



Slika 10.2. *Osnovni elementi svakog RFID sistema*

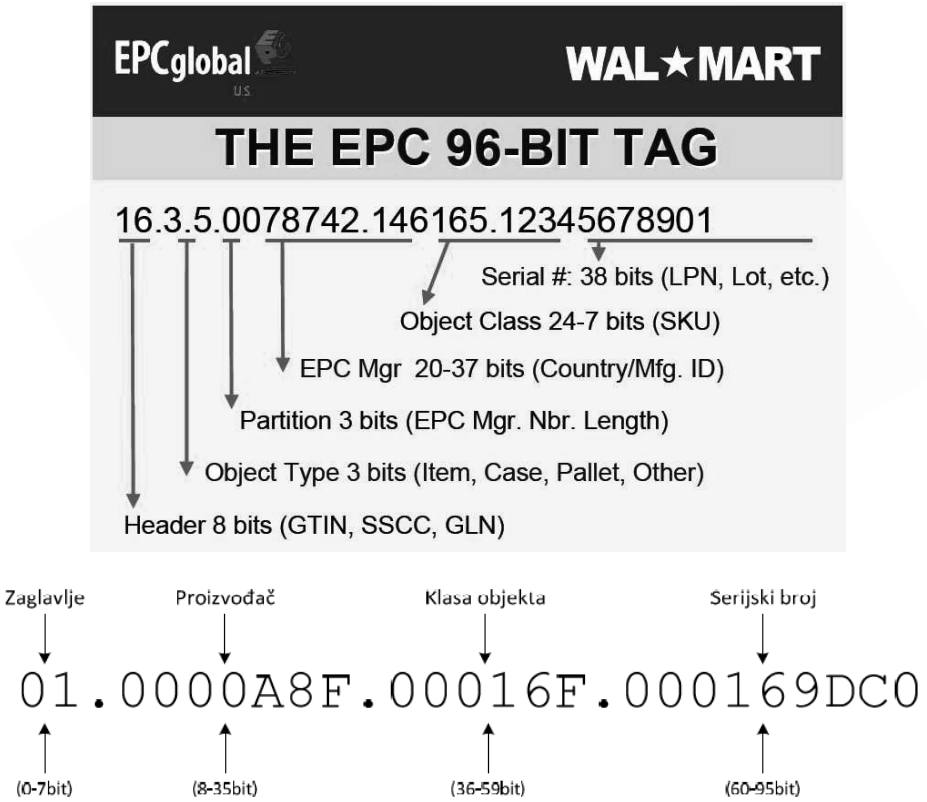
U suštini, RFID tehnologija funkcioniše na sledeći način: Transponder je jedinstveni identifikator za objekat kome je pridružen. Čitač šalje radio signal, i na taj signal transponder odgovara da bi se identifikovao. Zatim čitač pretvara dobijen radio signal u podatke koji mogu biti prosleđeni sistemu za procesiranje, da bi se posle filtriranja i analize preduzela odgovarajuća radnja na osnovu dobijene informacije.



Slika 10.3. *Izgled RFID čitača sa antenom*

U zavisnosti od tipa transpondera, količina podataka koja je skladištena u njemu može varirati od nekoliko bajta do nekoliko megabajta. Format podataka može biti proizvoljan,

samo je bitno da ga prepoznaju i čitač i transponder. Međutim, tek pre nekoliko godina (u laboratorijama MIT-a), razvijen je, dokumentovan i standardizovan, identifikacioni kod EPC (Electronic Product Code), zasnovan na RFID tehnologiji. EPC je struktuiran kod za obeležavanje artikala široke namene pomoću RFID tagova različitih oblika. Kontrolu nad razvojem EPC standarda ima međunarodna organizacija EPC Global, dok je distribucija i kontrola dodeljivanja EPC brojeva u nadležnosti međunarodne organizacije GS1, i odgovarajućih nacionalnih GS1 organizacija. Na prvi pogled se može zaključiti da je sve tu što treba da se BAR-KOD zameni novim RFID-EPC tagom. Dakle, standardizacijom u ovoj oblasti, uveden je pojam *Elektronskog Koda Proizvoda* ili EPC. On najčešće koristi 96-bitni format (GID 96), organizacije EPCglobal. Primer takvog identifikatora prikazan je na slici 10.4.

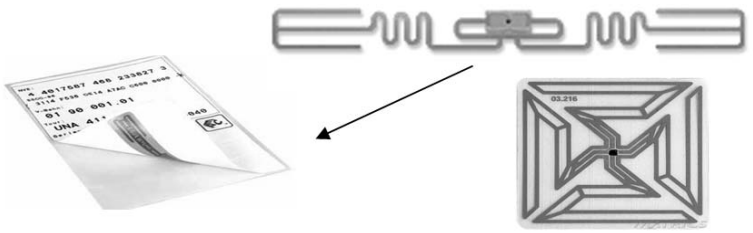


Slika 10.4. *EPC 96-to bitni kod*

Podatak se generiše i skladišti putem računara ili PLC-a, slično kao kod barkod sistema. RFID uređaj (čitač, odnosno terminal za prikupljanje informacija) koristi radio transmisiju za slanje energije RFID tagu koji onda emituje povratnu informaciju: jedinstveni identifikacioni kod i/ili niz podataka, ranije smeštenih u sam tag, slike 10.5 i 10.6. Tako prikupljene podatke, kao i u slučaju barkoda, moguće je dalje obrađivati.



- Novi globalni sistem standarda koji kombinuje tehnologiju radio frekventne identifikacije, postojeću komunikacionu mrežnu infrastrukturu i Elektronski Kôd Proizvoda (EPC – broj koji jedinstveno identifikuje jedinicu)
- Trenutna i automatska identifikacija i praćenje jedinica kroz ceo lanac snabdevanja.
- Poboljšana efikasnost i preglednost u lancu snabdevanja



Slika 10.5. *Moguće varijante RFID transpodera – tagova (u formi nalepnice)*



Slika 10.6. *Komunikacija između RFID čitača i taga*

10.2.2. Podela i osobine RFID tagova

RFID sistemi mogu biti kategorizovani ili kao nisko-frekventni ili kao visoko-frekventni. Nisko-frekventni ($30 \div 500\,\mathrm{KHz}$) sistemi imaju kratak domet čitača i niže cene. Visoko-frekventni sistemi ($850 \div 950\,\mathrm{Mhz}$ i $2,4 \div 2,5\,\mathrm{GHz}$) imaju veće domete i mnogo veće brzine skeniranja, ali im je i cena znatno veća.

Pored navedenog postoje i druge kategorizacione grupe u zavisnosti od: načina odnosno sredstva napajanja, sposobnosti čuvanja podataka, odnosno opcije programiranja, fizičkog oblika i na kraju cene.

Prema sposobnosti čuvanja podataka, odnosno mogućnosti programiranja, "EPCglobal",

konzorcijum industrijskih lidera kao što su Wal-Mart, Cisco, Procter&Gamble, Lockheed-Martin i Hewlett-Packard, podrazumeva da se RFID tagovi mogu klasifikovati u šest klasa:

1. Klasa 0: Read Only – tagovi koji sadrže permanentno upisane podatke, programirani od strane proizvođača;
2. Klasa 1: Write Once, Read many (WORM) – programiran od strane proizvođača ili korisnika;
3. Klasa 2: Read Write – tagovi na koje čitač može da iznova upisuje podatke;
4. Klasa 3: Read Write – sa senzorima (on-board) - za registrovanje vrednosti kao što je, na primer, temperatura;
5. Klasa 4: Read/Write sa integrisanim transmiterima – koji mogu komunicirati nezavisno od čitača;
6. Klasa 5: Read/Write, sa integrisanim transmiterima – kao i klasa 4 uz mogućnost međusobne komunikacije i pasivnih uređaja.



Slika 10.7. *Tagovi*

Fizički, uopštene su vrste RFID tagova: tag (transponder), "smart" nalepnice i RFID pločica (PCB).

U osnovi, RFID tag se sastoji od minijaturnog elektronskog kola - mikročipa i antene, zalivenih u kućište otporno na uticaj okoline.

Sam pojam "transponder" izveden je od reči transmitter i responder, prema funkciji tog uređaja koji na transmisiju čitača odgovara (respond) podatkom. Transponderi se proizvode u vrlo različitim oblicima, veličinama, s različitim kapacitetima memorije i sposobnostima "preživljavanja" u okolini. Nosilac informacije u obliku transponder-a-nalepnice, ili PCB-a (Printed Circuit Board - štampane elektronske pločice) obično se postavlja na objekat, ambalažu, paletu, kontejner ili čak na sam proizvod, tako da može s njim da putuje i na svakom koraku ga identifikuje. Podaci u tagu mogu biti raznovrsni, tj. potrebni za identifikaciju proizvoda na traci, robu u tranzitu, lokaciju, vozilo, takođe i životinju ili osobu, ali mogu predstavljati i instrukcije o daljim postupcima.

10.2.3. Primena RFID tehnologije u industrijskim sistemima

Primena RFID tehnologije u proizvodnji do sada se uglavnom odnosila na upravljanje tokovima materijala na skladištima. Međutim postoje mnogi razlozi za primenu ove tehnologije i u drugim delovima sistema, kao što su npr. sledeći:

- RFID tehnologija ne oslanja se na "vidljiv prostor", odnosno, podaci se mogu prenositi i kroz objekte što nije moguće pri vizuelnoj identifikaciji.
- Tehnologija radi na niskoj frekvenciji od 530 kHz, koja ne utiče na većinu procesa u proizvodnji.
- Preko površina na kojima se nalazi ulje, voda ili blato moguće je sigurno preneti podatak, što u slučaju korišćenja barkoda nije moguće.
- Pojedini tagovi mogu se koristiti više puta tako da je utrošak materijala mali.
- Različitost tagova prema tipu, veličini i materijalu od kojih su napravljeni što ih čini prilagodljivim potrebama određene aplikacije.
- RFID tagovi dobro podnose ekstremne uslove okoline uključujući i temperaturu.
- Izuzetno retka pojava greške pri očitavanju tagova.

RFID tehnologija, koja je primenjena u industrijskim sistemima, unapredila je sledeće proizvodne funkcije:

- identifikacija proizvoda pri praćnju u toku proizvodnje,
- praćenje i prikupljanje podataka o kontroli kvaliteta,
- inteligentno definisanje putanje kretanja konvejera,
- potvrđivanje vremana i podataka iz proizvodnje za poboljšanje,
- automatski vođena vozila,
- tehnološki postupci za grupne procese,
- skraćenje vremena za izbor alata ili izmena alata.

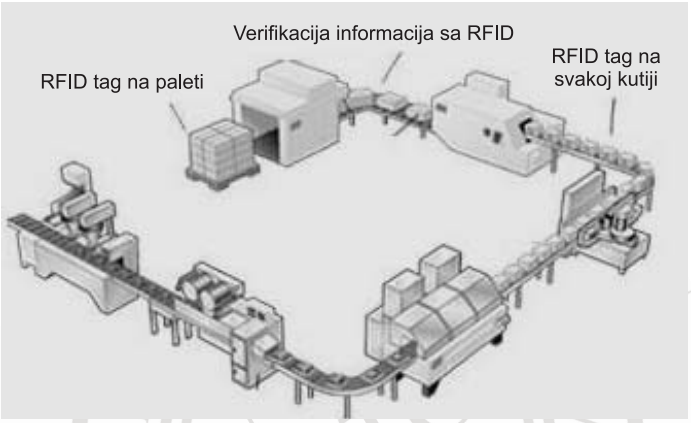
U delu procesa proizvodnje gde se vrši montaža najčešća je primena RFID tehnologije. U uslovima čestih izmena u proizvodnji (male količine i veliki broj varijanti proizvoda) prednosti koje pruža RFID su značajno povećane. Vreme montaže postavljanjem ovakvog sistema se značajno smanjuje (i do 50%).

Vođenje korak po korak, smanjuje mogućnost pojave grešaka prilikom izbora alata i pribora, a takođe i pri izvršavanju pojedinih zahvata.

Ovakav sistem moguće je još više unaprediti u smislu izmene načina izuzimanja delova motora iz skladišta korišćenjem automatski vođenih vozila (AGV), koji imaju mogućnost automatske navigacije i lociranja. Princip njihovog rada je sledeći: RFID čitači se postavljaju na vozila i povezuju se sa računarom na vozilu koji očitane podatke radio vezom razmenjuje sa centralnim informaciono-upravljačkim sistemom. Tagovi koji poseduju odgovarajuće identifikacije i podatke o poziciji mogu se postavljati i u pod prostorija (skladišta) u kojem se kreću ova vozila, a ispod samih vozila u tom slučaju se postavljaju antene za očitavanje podataka sa tagova.

Prilikom montaže PC-a, različite konfiguracije mogu biti montirane unutar identičnog kućišta, bez razlike u spoljašnjim dimenzijama. Sa stotinama ili hiljadama varijanti, neophodna je neka vrsta autoidentifikacije.

U delu proizvodnog sistema gde se vrši pakovanje gotovog proizvoda takođe je pogodna primena RFID tehnologije. Praktičan primer mogućnosti primene RFID tehnologije prikazan je na slici 10.8.



Slika 10.8. *Primer primene RFID tehnologije u procesu pakovanja*

Sistem se sastoji iz pet stanica za pakovanje koje su međusobno povezane trakastim transporterom. Princip rada je sledeći: nakon pakovanja pojedinačnog proizvoda u kutiju, na stanici za upis datuma proizvodnje i datuma važenja proizvoda, vrši se i postavljanje RFID taga u kojem se nalaze svi relevantni podaci vezani za sam proizvod. Pre krajnjeg pakovanja grupe proizvoda na paletu vrši se verifikacija informacija očitanih sa RFID tagova (na kutijama proizvoda), odnosno utvrđivanje tipa i broja proizvoda koji idu na završnu fazu pakovanja, a ključni su za dalje praćenje proizvoda, odnosno za analizu proizvodnje. Nakon verifikacije vrši se pakovanje grupe proizvoda na pojedinačnu paletu na koju se postavlja novi RFID tag (u okviru kog se nalaze podaci vezani za identifikaciju palete, odnosno broja i tipa proizvoda koji se na njoj nalaze). Tako adresirana paleta može da ide u izlazno skladište ili direktno u isporuku kupcima.

Za navedene delove proizvodnih sistema, do sada su se uglavnom koristili barkodovi, čija primena ima mnogo nedostataka, kao što su sledeći:

- Čitanje barkodova zahteva angažovanje operatera, koji bi pomerao deo pored čitača ili pomerao mobilni čitač do dela. Ovakav vid rada iziskuje angažovanje većeg broja radnika.

- Barkod ne sme na sebi imati bilo kakve nečistoće, jer ukoliko one postoje očitavanje može biti sa greškama.

- Barkod nalepnice često je veoma teško postaviti na palete ili proizvode.

- Ukoliko je potrebno promeniti identifikaciju (ID) ili informaciju, na paleti, koja treba biti iščitana mora se koristiti nova barkod nalepnica, što iziskuje veći utrošak materijala i vremena za formiranje nove nalepnice.

Proizvodnju je moguće voditi bez greške ako se postave uređaji koji su duboko unutar proizvodnog procesa i ne zahtevaju dodatnu radnu snagu. Upravo takav je RFID sistem, koji predstavlja kvalitativno bolje rešenje navedenih problema.

RFID čitači koji se u ovakvim slučajevima koriste su dometa od svega nekoliko centimetara, tako da ne može nastati kolizija između tagova sa različitih paleta.

10.2.4. RFID tehnološki standardi

Svrha standardizacije je da definiše najefikasnije platforme na kojima industrija može da funkcioniče i da napreduje. Postoji nekoliko organizacija koje su uključene u realizaciju standarda za RFID tehnologiju. Najznačajnije od njih - Međunarodna organizacija za standardizaciju (ISO - International Organization for Standardization) i EPC Global (Electronic Product Code) su pokrenule puno inicijativa u vezi sa RFID standardima.

Tabela 10.1. *Osnovni ISO RFID standardi*

ISO Standard	Title	Status
ISO 11784	Radio frequency identification of animals -- Code structure	Published standard – 1996
ISO 11785	Radio frequency identification of animals -- Technical concept	Published Standard -1996
ISO/IEC 14443	Identification cards - Contactless integrated circuit(s) cards - Proximity cards	Published Standard 2000
ISO/IEC 15693	Identification cards - Contactless integrated circuit(s) cards - Vicinity cards	Published Standard 2000
ISO/IEC 18001	Information Technology - AIDC Techniques - RFID for Item Management - Application Requirement Profiles	Published Standard 2004
ISO/IEC 18000-1	Generic Parameters for Air Interface Communication for Globally Accepted Frequencies	Published Standard 2004
ISO/IEC 18000-2	Parameters for Air Interface Communications below 135KHz	Published Standard 2004
ISO/IEC 18000-3	Parameters for Air Interface Communications at 13.56 MHz	Published Standard 2004
ISO/IEC 18000-4	Parameters for Air Interface Communications at 2.45GHz	Final Draft International Standard
ISO/IEC 18000-6	Parameters for Air Interface Communications at 860-930 MHz	Published Standard 2004
ISO/IEC 15961	RFID for Item Management - Data protocol: Application interface	Published Standard 2004
ISO/IEC 15962	RFID for Item Management - Protocol: Data encoding rules and logical memory functions	Published Standard 2004
ISO/IEC 15963	RFID for Item Management - Unique Identification of RF Tag	Final Draft International Standard

ISO, koji predstavlja globalne interese, je uključen kroz različite segmente RFID tehnologije preko podgrupe komiteta Joint Technical Committee One (JTC1) koji je odgovoran za razvoj standarda za informacione tehnologije.

Tokom 1999. godine nekoliko univerziteta koji su bili spozorisani od strane velikih proizvođača robe široke potrošnje formiralo je tzv. Auto ID Center sa mandatom da unapredi RFID tehnologiju, a 2003. godine Auto ID Center prerasta u EPC Gobal, pod pokroviteljstvom UCC/EAN (UCC - Savet za uniformno kodiranje, EAN - European Article Numbering) organizacije, radi podrške poslovne strane RFID tržišta.

Univerziteti - osnivači su nastavili svoja istraživanja i razvoj kroz novoformirani Auto Id Labs koji ostao da usko sarađuje sa EPC Global. EPC global je odgovoran za definisanje specifikacija za sve aspekte RFID tehnologije, uključujući i standardizaciju. Pored ove dve glavne, u RFID standardizaciju su uključene i mnoge organizacije na lokalnom nivou - AIAG, FDA, Postal.

EPC Global je počeo rad uz viziju da identifikuje svaki pojedinačni proizvod, odnosno objekt posmatranja, jedinstvenim elektronskim kodom (EPC). Globalna mreža se implementira da omogući vidljivost svakog elementa u praćenju kroz lance snabdevanja, pa je veliki deo istraživanja i razvoja usmeren u kreiranju specifikacija i standarda za RFID tagove i potrebnu infrastrukturu. Iako EPC Global nije ograničen samo na UHF frekventnu oblast, ona je glavno područje njegovog rada.

Kroz svoj razvojni ogranak Auto ID Labs, EPC Global je definisao specifikacije za različite klase RFID tagova, a klase tagova 0 i 1 su trenutno komercijalno raspoloživa. RFID tagovi klase 0 imaju fabrički programiran 96-to bitni kod, dok su tagovi klase 1 korisnički programibilni. EPC Global definiše, pored ID dela i programibilni korisnički deo memorije RFID taga. Takođe se i detaljno definiše struktura 96-to bitnog ID koda koja je dovoljno fleksibilna da može dase inkorporira i u druge standarde koji se koriste u praćenju lanaca snabdevanja.

EPC 96-to bitni kod omogućava jedinstvene identifikatore za čak 268 miliona kompanija. Svaki proizvođač može da ima 16 miliona klasa objekata i 68 milijardi serijskih brojeva u svakoj klasi. Nove numeričke šeme biće uključene u 128-mo bitne i 256-to bitne ID brojeve, što će proširiti postojeće identifikacione standarde. Ambicija EPC mreže (bivša UCCNET) je praćenje objekat od dolaska sirovina za njihovu proizvodnju, pa do krajnjeg korisnika.

Sa aspekta šire primene RFID tehnologije, GS1 se uključio u projekat razvoja EPC mreže koja će uključivati primenu jedinstvenog identifikacionog broja (EPC), RFID identifikacije, kao tehnologije za obuhvatanje podataka, i otvorene mreže dostupne putem Interneta preko koje će biti moguće na međunarodnom nivou vrlo brzo doći do informacija o kodiranom proizvodu. EPC je broj koji jedinstveno identifikuje svaku pojedinačnu jedinicu. Znači svaka individualna jedinica imaće svoj identifikacioni broj koji će omogućiti njeno praćenje. U okviru tog broja biće uključena identifikacija objekta označavanja, preko serijskog broja. EPC će kao informacija biti kodiran na RFID tagu. Nakon očitavanja taga poseban softver slaće upit gde se mogu naći informacije o tom objektu odgovarajućem serveru koji će ga uputiti na odgovarajući server, a ovaj na odgovarajuću e-adresu tog proizvoda.

U tabeli 10.2 su prikazane EPC Global specifikacije.

Tabela 10.2. *EPC Global specifikacije*

EPC Global Specifications	
EPC Tag Data Standards	Specific encoding schemes for a serialized version of the EAN.UCC Global Trade Item Number (GTIN®), the EAN.UCC Serial Shipping Container Code (SSCC®), the EAN.UCC Global Location Number (GLN®), the EAN.UCC Global Returnable Asset Identifier (GRAI®), the EAN.UCC Global Individual Asset Identifier (GIAI®), and a General Identifier (GID).
UHF Class 0 Specifications	Communications interface and protocol for 900 MHz Class 0
UHF Class 1 Specifications	Communications interface and protocol for 860 - 930 MHz Class 1
UHF Class 1, Genereation 2 Specifications	Communications interface and protocol for 860 - 930 MHz, built upon Class 1
HF Class 1 Specifications	Communications interface and protocol for 13.56 MHz Class 1
Reader Protocol	Communications messaging and protocol between tag readers and EPC compliant software applications
Savant Specification	Specifications for services Savant performs for application requests within the EPCglobal Network
Object Name Service Specification	Specifications for how the ONS is used to retrieve information associated with a Electronic Product Code (EPC)
Physical Markup Language Core Specification	Specifications for a common vocabulary set to be used within the EPCglobal Network to provide a standardized format for data captured by readers

EPC će se prvo koristiti u logističkim aplikacijama, pre svega za označavanje paleta. Pored brzog i preciznog dobijanja podataka o proizvodima sistem će omogućiti i efikasno praćenje svakog individualnog proizvoda, njegovu lokaciju, trenutno stanje i status duž lanca snabdevanja. Sistem je teoretski primenljiv u svim oblastima poslovanja i kao efikasni oblik automatske identifikacije, obuhvatanja i pristupa podacima može da omogući efikasnije upravljanje poslovnim procesima (na primer, kod naručivanja, inventarisanja, kontrole i slično).

Primena ove nove tehnologije (EPC mreže) stvara novi tip Interneta - elektronske adrese za proizvode i logističke jedinice kod kojih će pristup biti preko serijskog broja proizvoda koji je ugrađen u strukturu EPC broja.

U ovom trenutku, ovaj koncept (stvoren na MIT-u) podržava oko stotinak najvećih svetske kompanije (koji su i sponzori ovog projekta) kod kojih je upravljanje distribucijom logističkih jedinica, paleta i pojedinačnih artikala veoma važno, kao i EAN organizacija (koja je od ove godine prihvatila da finansira ovaj projekat i primenu iz svog budžeta). Već se rade pilot projekti u primeni ovog sistema, a prve aplikacije očekuju se u oblasti distribucije kao i primenama za tzv. pametne police - za trenutni uvid koliko se proizvoda jednog tipa nalazi na polici u prodavnici. Očekuje se da će primena EPC kodova značajno početi da se povećava nakon snižavanja cene samog taga, njegove standardizacije, razvoja opreme za čitanje i softvera kao i uključivanja većeg broja kompanija koje će koristiti ovaj sistem.

Potrebno je na kraju istaći da je RFID samo deo celovitog sistema za praćenje u realnom vremenu (RTLS - Real Time Location System) koji prevazilazi neke od nedostataka "običnih" RFID sistema. Glavna razlika između RFID tehnologije i RTLS tehnologije je što se RFID tagovi očitavaju u trenutku prolaska pored fiksnih tačaka (na kojima su čitači), dok se tagovi koji pripadaju RTLS sistemu čitaju automatski i kontinualno, nezavisno od kretanja i trenutne pozicije.

10.2.5. RFID problemi

Aktuelna situacija u svetu pokazuje da uvođenje potpuno funkcionalnog RFID sistema baš i nije tako jednostavno. Još uvek je broj kompanija koje koriste RFID tagove, posebno EPC, veoma mali i ograničen na najveće, prethodno pomenute trgovinske lance.

Šta su glavni razlozi relativno sporog širenja primene RFID tehnologije u savremenim proizvodnim, logističko distributivnim, transportnim i trgovinskim sistemima, ako to već nije previsoka cena RFID tagova i odgovarajuće opreme?

Odgovor je i jednostavan i kompleksan u isto vreme. Barkod tehnologija je u masovnoj primeni, u obeležavanju i identifikaciji proizvoda, od kraja 60-tih godina prošlog veka, gotovo 40 godina. Za to vreme duboko i široko je implementirana u sve poslovno informacione sisteme, posebno u sve sisteme za upravljanje proizvodnjom, logistikom, distribucijom, transportom i trgovinom. Kompletna filozofija projektovanja takvih sistema godinama je bazirana na mogućnostima i prednostima barkod tehnologije.

RFID tehnologija i RFID tagovi, posebno EPC tagovi, bez sumnje, donose sasvim nove mogućnosti i nove prednosti. Međutim, da bi se one mogle na pravi način iskoristiti i dati očekivane efekte, neophodno je u potpunosti promeniti fiozofiju projektovanja i izgradnje informacionih sistema, posebno specijalizovanih logističko-distributivnih i trgovinskih sistema, koji će biti bazirani na primeni RFID tehnologije.

To niti je jednostavno, niti je jeftino, niti se može napraviti za jednu, dve ili tri godine. Tu činjenicu priznaju i najveće od pomenutih kompanija, koje su, inače, u pojedinim segmentima svog poslovanja, već danas, otišle veoma daleko u primeni RFID tehnologije. Taj oprez i postupnost u širenju RFID sistema, posebno je karakterističan za vodeće evropske trgovinske kompanije.

Međutim, opšta preporuka je da se treba naoružati strpljenjem. Treba dozvoliti velikim kompanijama, uključujući i velike softverske kompanije, da naprave glavne pomake, da proizvedu, ne samo prvu, već i drugu treću, ... verziju svojih "RFID/EPC based" rešenja, da prokrče put "softverskom prethodnicom", da proizvođači hardvera proizvedu prvi, drugi, treći, ... model taga, antene, čitača, efikasniji i jeftiniji od prethodnih, da EPC Global utvrdi, pored sadašnjih EPC1 i EPC2, i EPC3 ili EPCn standard, koji će biti standard u narednih desetinu više godina, da se proširi mreža nacionalnih EPC provajdera.

Ako se krene sa takve startne pozicije, uz stvaranje realnih mogućnosti za paralelni rad različitih sistema, njihovu nadgradnju i integrisanje, postoje realne šanse za uspešnu implementaciju RFID sistema. Konačno, to nam potvrđuju i današnji lideri u primeni RFID tehnologije u Americi i Evropi, Wal-Mart i Metro – to su istovremeno i lideri u efikasnoj primeni barkod tehnologije. Slično važi i za druge velike korisnike RFID tehnologije.

10.3. Bar-kod optičko predstavljanje podataka

Bar-kod je optičko predstavljanje podataka (slova i/ili brojeva) koji se mogu čitati pomoću optičkih skenera koji se zovu bar-kod čitači ili mogu biti skenirani sa slike uz pomoć posebnih softverskih alata. Bar-kod tehnologija je zasnovana na linijskoj tehnologiji za automatsku identifikaciju. U suštini, bar-kod je niz paralelnih crnih i belih linija različitih širina. Oni se mogu smatrati drugim načinom pisanja, jer zamenjuju ručni unos podataka. Koristi se u procesu identifikacije proizvoda, vozila, paketa, robe itd., u postupku prolaska ili kretanja kroz određeni prostor. Koristi se svuda gde je potrebno nešto brzo identifikovati, kao na primer u prodavnicama, supermarketima, sladištima i slično.

10.3.1. Bar-kod kroz istoriju

Koncept bar-koda čija elegantna i jednostavna pojava daleko potcenjuje njegov značaj, nastao je gotovo slučajno kao i mnogi veliki izumi u istoriji. Sve se desilo u leto 1949. godine u kojoj se mladi student postdiplomac Džozef Vudland već izvesno vreme tražio rešenje problema automatizovanog prepoznavanja proizvoda. Verovao je da efikasno rešenje leži u simbolima Morzeove azbuke, ali nije bio siguran kako da ih grafički predstavi na najpogodniji način. Onda je jednog dana, odmarajući se na plaži, lenjo povlačio crtice i tačkice prstom u pesku. Dok su se crtice dobijale izdužen oblik pod njegovim pristima, pogledao je rezultat i došao na ideju.

Tri godine kasnije, Vudland i njegov partner dobili su patent na ono što je počelo kao nekoliko linija u pesku. Rodio se tzv. linearni bar-kod. Međutim, na razočarenje pronalazača, činilo se da je bar-kod potpuni promašaj. Prošlo je čitavih 15 godina do njegove prve komercijalne upotrebe - na stranama teretnih vagona koje je trebalo evidentirati pri prolazu pored fiksiranih skenera postavljenih uz prugu. Projekat je doživeo potpuni debakl jer niko nije uzeo u obzir vertikalna pomeranja vagona pri prolasku pored skenera.

Kroz istoriju, Vudlandov linearni bar-kod doživeo je razne modifikacije i nastale su različite varijacije, odnosno tipovi linearnog bar-koda. Uprkos početnom, decenijskom, neuspehu ideja se održala i bar-kod je postao ono što danas jeste. Prvi uspešno komercijalizovan bar-kod je bio tzv. Code 39 bar-kod, koji je našao veliku primenu u logistici gde se održao do danas (uz Code 128).

Kada je označavanje bar-kodom ušlo u upotrebu, poslovanje je u kvantitativnom i kvalitativnom smislu unapređeno u proizvodnji, transportu, trgovini i mnogim drugim uslužnim delatnostima. Kao što svaka automatizacija povećava pouzdanost i brzinu, tako je i uvođenje bar-koda omogućilo daleko veći protok proizvoda i informacija nego ranije, u vreme ručnog unosa podataka. Danas su bar-kod sistemi kritični element u poslovnim procesima globalne ekonomije.

10.3.2. Bar-kod danas

Bar-kod sa kojim se danas najčešće srećemo, onaj koji se pojavljuje na ambalaži proizvoda, nastao je 1973. godine po zahtevu Američke prehrambene industrije. Motivacija je bila prepoznvanje bar-koda kao potencijalnog mehanizma za smanjenje troškova vezanih za

ljudske resurse i radnu snagu, poboljšanje kontrole inventara kao i povećanje kvaliteta usluge koja se pruža krajnjim korisnicima. Ova forma bar-koda naziva se Universal Product Code (UPC) i razvila ju je asocijacija formirana da odgovori na potrebu prehrambene industrije. Prvi proizvod sa UPC bar-kodom prodat je u američkoj državi Ohajo u junu 1974. godine i bilo je to pakovanje "Wrigley" guma za žvakanje.

Sa današnje tačke gledišta, ekonomski uticaj bar-koda je ogroman. Analiza koju je 1999. godine uradio "Price Waterhouse Coopers" pokazala je da je bar-kod zaslužan za uštedu od 17 milijardi dolara godišnje u prehrambenoj industriji. Verovatno je još više iznenađujući zaključak studije koji ukazuje na to da postoji širok prostor za dodatne milijarde dolara uštede maksimizacijom upotrebe UPC bar-koda.

Najveći profiteri uvođenja ove tehnologije su potrošači – primena UPC bar-koda donela je napretke u efikasnosti i produktivnosti koji su značajno uticali na tržišne cene proizvoda kao i na sam kvalitet usluge. Između proizvođača i prodavaca, ipak su bolje prošli ovi drugi. Naime, osim uštede u radnoj snazi, bar-kodovi su omogućili prodavcima da detaljno prate životni ciklus proizvoda – podatak koji proizvođači rado plaćaju a prodavci nude.

10.3.3. Elementi bar-kod tehnologije

Osnovni elementi bar-kod tehnologije su:

- **Oznake** – koje se sastoje od linija i praznih polja između njih. Grupa linija i praznih polja predstavlja kodirani znak koji se koristi pri prepoznavanju proizvođača, proizvoda ili nekih drugih relevantnih karakteristika. Oznaka je malih dimenzija, čime je obezbeđeno postizanje relativno visokih gustina informacija. Troškovi njene proizvodnje su izuzetno niski, a u funkciji od materijala na kome se nalazi može biti i izuzetno trajna.

- **Uređaji za očitavanje informacija** se međusobno razlikuju u brzini očitavanja informacija, rastojanja sa koga mogu očitati informaciju i prema uslovima koje treba obezbediti da bi se informacija mogla konkretno očitati. Bez obzira na klosu ovih uređaja, cena nije velika i pouzdani su, što doprinosi afirmaciji ovog sistema automatske identifikacije.

- **Oprema za povezivanje uređaja** za očitavanje i uređaja za obradu informacija. Ova oprema po svojoj složenosti ne prevazilazi složenost slične opreme u srodnim sistemima.

- **Softver**, koji omogućava povezivanje svih elemenata u jedinstvenu funkcionalnu celinu.

10.3.4. Simbologija

Do danas, definisano je više od 200 različitih bar-kod simbologija ili jezika, ali ih je malo u praktičnoj upotrebi, a još manje globalno raširenih i prihvaćenih. Svaka bar-kod simbologija ima sopstvena pravila za kodiranje znakova, zahteve u odnosu na štampu, dekodiranje i proveru. Simbologije se razlikuju i po načinu na koji predstavljaju podatke i prema

tipu podataka koje mogu predstaviti - neke dozvoljavaju isključivo numeričke podatke, neke mogu kodirati alfanumeričke znakove s dodatkom nekoliko znakova interpunkcije, odnosno set od 128 znakova ili 256 znakova ASCII seta.

Najnovije simbologije uključuju i mogućnost kodiranja različitih jezika u istom simbolu, čak i rekonstrukciju podataka oštećenog simbola putem namerne redundancije.

Linearne simbologije se mogu klasifikovati prema dva atributa: diskretne i kontinualne simbologije i simbologije sa dve ili više širina.

Diskretna i kontinualna simbologija

Kod diskretne simbologije svaki pojedini znak u simbolu može biti interpetiran individualno, bez obzira na ostale znakove u tom istom bar-kod simbolu.

U takvim simbologijama znakove i počinju i završavaju s crtom (a ne prazninom, razmakom). Individualni znakovi su odvojeni određenim razmakom koji sam po sebi ne nosi značenje.

U kontinuranim simbologijama znakovi se ne mogu posmatrati odvojeno jedan od drugoga, jer počinju crtom a završavaju prazninom. Praznina u simbolu završava tamo gde počinje sledeći znak. Znak se dakle ne može posmatrati individualno jer ne možemo znati koliko je široka zadnja praznina u znaku ako ne uzmemo u obzir početak sledećeg znaka.

Kontinuirana simbologija uključuje i neku vrstu oznake kraja simbola, pa je poslednja praznina zadnjeg znaka označena takvom "završnom" crtom.

Ako su svi ostali uslovi jednaki, diskretna simbologija zahteva više prostora za prikaz istog podatka, jer uključuje još i razmake među pojedinim znakovima. Ipak, diskretna simbologija ima tu prednost da se može otisnuti s manjim kvalitetom (jeftinijim printerom) i ima veću toleranciju u skeniranju koda. Osim navedenog, nema značajnih razlika između ova dva tipa simbologija, odnosno ne može se reći da je jedna pouzdanija od druge.

Simbologija sa dve ili više širina

Bar-kod simbologije se takođe razlikuju po broju mogućih širina crta i praznina među crtama, tako postoje simbologije s dve ili više mogućih širina. Kod simbologija koje dozvoljavaju samo dve širine, crte i praznine su ili "široke" ili "uske". Ovaj pristup je jednostavniji, jer je dovoljno odrediti koliko je tačno širok "uski" element – sve ostalo je "široko." To dozvoljava veću toleranciju pri štampi.

Nasuprot tome, simbologije s više dopuštenih širina elemenata mogu imati crte i praznine 2, 3 ili više puta šire od najužeg elementa. Širina najuže paralelne crte ili praznine naziva se X dimenzija (mera je obično milioniti ili hiljaditi deo inča). Dakle, najuži element je X širine, srednji može biti $2X$ širine, a široki element može biti $3X$ širok. Zbog većeg broja mogućih kombinacija kodiranje podataka je efikasnije, a sam bar-kod simbol uži. X dimenzija određuje širinu svih ostalih crta i praznina između njih, pa time i dužinu celog bar-kod simbola. Što je veća X dimenzija, to će i bar-kod simbol biti veći, i lakše će se skenirati. Upotreba linijskih kodova u praksi je pokazala da ova dimenzija varira između $0,1$ i $1\,\mathrm{mm}$. Simbologije više širina su obično kontinuirane.

Start i stop znak

Oznaka mora biti čitljiva sa obe strane, odnosno sa leva na desno i odozgo na gore i obrnuto. Određeni uzorak - niz crta i razmaka postavlja se na početak i na kraj bar-kod simbola i određuju početak odnosno kraj simbola. U pojedinim slučajevima određuju i smer skeniranja.

Kontrasti u okviru oznake

Štampa linijskih oznaka se najčešće realizuje crnom bojom na beloj podlozi. Ova kombinacija boja daje najbolji kontrast i najveću pouzdanost pri očitavanju oznaka. Očitavanje oznaka se može uspešno realizovati i pri korišćenju drugih kombinacija boja linija i pozadine. Sistem je konstruisan tako da najbolje radi sa crvenim svetlom koje emituje čitač, pa zato nije poželjno da pozadina oznake ili papir sadrži komponentu plave boje, jer ona redukuje kontraste.

Zone bez oznaka

Korektno očitavanje oznaka linijskog koda zahteva da čitač obavi niz osetljivih merenja kontrasta između tamnih linija i svetle pozadine između linija. Merenja se obavljaju uz upotrebu instrumenata koji projektuju tanak zrak energije na oznaku. Osetljivost instrumenata zahteva izvesno vreme za prilagođavanje na početku i na kraju čitanja, da bi se odredila kritična širina svake linije u oznaci. Protebno vreme obezbeđuje prazna zona u oznaci. Uobičajeno je da ova zona bude široka 10 osnovnih dimenzija, odnosno između 2 i $5\,\mathrm{mm}$.

10.3.5. Tipovi bar-kod simbola

Postoje različite vrste oznaka bar-koda, koje su označene kao simbologije. Simbologija je naziv za skup pravila po kojima su podaci kodovani međusobnim odnosom širina tamnih i svetlih površina oblika vertikalnih crta. Zavisno od osnovnih karakteristika simboligije, tj. seta karaktera koji se kodiraju, broja i odnosa površina, formirano je više tipova bar-kod simbola. Danas su u primeni:

- Jednodimenzionalni (EAN, UPC, Codabar...);
- Dvodimenzionalni (Data Code, CODABLOCK, Maxi Code, Code 49...).

Universal Product Code – UPC

UPC simbologija je prva simbologija koja je široko prihvaćena. Uvedena je 1973 godine, kada je industrija hrane zvanično ustanovila UPC kao standardnu simbologiju za svoje proizvode. Numerički UPC sistem se koristi u zemljama severne Amerike. Danas postoji pet verzija UPC bar-koda, označene od A do E. Verzija A UPC bar-koda ima 10 cifara i 2 cifre sa strana, slika 10.9. Privih pet cifara sa leve strane označavaju proizvođača, dok drugih pet cifara sa desne strane označavaju proizvod. Karakter sa krajnje leve strane predstavlja klasifikacioni broj, dok karakter sa desne strane predstavlja kontrolnu oznaku.



Slika 10.9. *UPC bar-kod,verzija A*

Kako bi kod bio kompatibilan sa EAN sistemom dodata je još jedna cifra, nazvana vodeća nula. I UPC i EAN simboli su fiksne dužine, generišu samo brojeve, predstavljaju kontinualne simbologije i koriste širinu 4 elementa.

UPC simbologija je dizajnirana za kodiranje proizvoda. Može biti odštampan na proizod uz pomoć različitih štamparskih procesa. Ovaj format omogućava čitanje koda sa bilo koje strane, pod uslovom da je kod okrenut ka skeneru.

Verzija koja se najviše koristi posle osnovne je verzija E. Namenjena je za ambalaže koje su suviše male da bi koristile bilo koju drugu verziju. Broj je manji jer ne sadrži nule koje bi se inače pojavljivale u kodu, 10.10.



Slika 10.10. *UPC bar-kod, verzija E*

European Article Numbering Code - EAN

EAN simbologija je bazirana na osnovu UPC-A standarda. Ovaj standard je utvrđen uglavnom zbog toga što UPC-A standard nije dobro dizajniran za međunarodnu upotrebu. Pošto je EAN nadogradnja na UPC, to znači da će bilo koji hardver ili softver sposoban da pročita EAN automatski biti u mogućnosti da pročita i UPC simbol.

Postoje dva tipa EAN simbola: EAN-13 i skraćena verzija EAN-8. EAN-13 sadrži dve polovine sa po 6 znakova, dok trinaesti znak nije grafički predstavljen već se čita određenim ključem. EAN-8 ima dva dela sa po četiri cifre. Oba simbola imaju levi i desni ivični znak i jedan centralni deobni znak. Izged EAN simbola je prikazan na slici 10.11.



Slika 10.11. *EAN kôd*

Struktura EAN broja je sledeća:

- Prve dve (nekada i tri) cifre označavaju nacionalno telo, organizaciju odgovornu za numeraciju;
- Sledećih pet cifara označavaju proizvođača ;
- Sledećih pet cifara označavaju artikal ;
- Poslednja cifra predstavlja kontrolni broj, koji se izračunava na osnovu standardnog algoritma za EAN.

Neke karakteristike EAN simbola:

- Svaki karakter je sastavljen od 7 elemenata koji sadrži 2 linije i 2 prazna prostora. Širina linije ili praznog prostora ne može biti veća od 4 elementa. Jedini izuzetak su krajnja leva i desna strana i sredina (koje se sastoje od po tri elementa) i oni su širine 5 elemenata.
- Svi znakovi na levoj strani bar-koda uvek počinju sa 0 (razmak) dok svi karakteri na desnoj strani bar-koda uvek počinju sa 1.
- Visina polovine simbola veća je od širine, pa je moguće čitanje simbola i u nepogodnom položaju.
- Greška se javlja jednom u tri miliona čitanja.

Codabar

Codabar je linearna simbologija razvijena 1972. godine od strane Pitney Bowes Corporation. Takođe je poznat još i kao Codeabar, Ames Code, NW-7, Monarch, Code 2 of 7, racionalizovan Codabar, ANSI/AIM BC3-1995 ili USD-4.

Postoje dve razlike u odnosu na EAN simbol:

- EAN simbol je fiksne dužine dok se Codabar može formirati u neograničeno dugačku poruku
- Oznaka u Codabar simbologiji se može podeliti u dva dela koja se pri očitavanju objedinjuju

Codabar može kodovati cifre od 0 do 9, šest simbola ($-$: .$/+$), i start/stop oznake, A, B, C, D, E, *, N ili T. Start/stop oznake moraju biti korišćeni u parovima. U ovom tipu bar-koda ne postoji kontrolna cifra, već ona ima ugrađen sistem samokontrole. Međutim neke industrije (kao što su biblioteke) su usvojile sopstvene standarde za kontrolnu cifru.

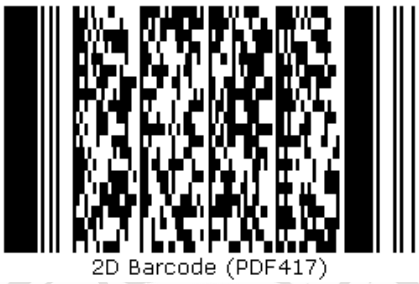
Codabar se koristi u bibliotekama, bankama krvi, u FedEx-ovom servisu za dostavu paketa, kao i raznim drugim aplikacijama za obradu informacija. Na slici 10.12 prikazan je izgled Codabar simbola.



Slika 10.12. *Codabar simbol*

Dvodimenzionalni bar-kod

Dvodimenzionalni (2D) bar-kod predstavlja grafičku sliku koja skladišti informacije i horizontalno (kao jednodimenzionalni bar-kod) i vertikalno, 10.13. Kao rezultat, 2D kodovi mogu da uskladište do $7\,089$ karaktera, što je znatno više nego što jednodimenzionalni linerani bar-kod može (do 20 karaktera).



Slika 10.13. *Izgled 2D bar-koda*

Od kad su bar-kodovi prvi put uvedeni, korisnici su težili ka tome da kodovi nose više podataka po jedinici površine. Hteli su da bar-kodovi budu prenosive baze podataka a ne samo ključ za neku bazu. Postoji mnogo različitih bar-kod simbola u upotrebi danas, a mnogi od njih su posebno napravljeni da bi se postigla veća gustina podataka. 2D bar-kodovi su takođe poznati kao brz odgovor kodova jer omogućavaju brz pristup podacima. 2D bar-kodovi se često koriste u kombinaciji sa "pametnim" telefonima. Korisnik jednostavno fotografiše 2D bar-kod sa kamerom na telefonu opremljenim sa bar-kod čitačem. Čitalac interpretira kodiranu URL adresu, što upućuje pretralivač na relevantne informacije na veb lokaciji. Ova sposobnost je učinila 2D bar-kodove korisnim za mobilni marketing. Neki 2D bar-kod sisteme i dostavlja informacije poruku za korisnika bez pristupa internetu.

Na slici 10.13 je prikazan PDF417 dvodimenzionalni bar-kod. Podaci se koduju i horizontalno i vertikalno. Ukoliko se koduje veća količina podataka, veličina bar-koda se može povećati i horizontalno i vertikalno, čime se zadržava oblik za jednostavno skeniranje.

Postoje razni primeri primene 2D bar-kodova. Na primer, u Japanu 2D bar-kodovi su čak bili postavljeni na nadgrobnim spomenicima. Posetilac slika bar-kod telefonom i ima uvid u podatke pokojnika, slike, informacije o porodici i slično. U Španiji, bar-kodovi sadrže detaljne vozne mape radi lakšeg potovanja, a "Vašington post" koristi ovu tehnologiju da bi korisnicima dodeljivali nagradne poene kada ih skeniraju telefonom na određenim prodajnim mestima. U Holandiji, na sajmu inovacija, na svakom štandu se nalazio kôd. Posetioci nisu morali da razmenjuju vizitkarte, ako su želeli da saznaju nešto više o nečijim idejama. Jednostavno skeniraju bar-kod i informacije se šalju na njihove mobilne telefone putem SMS-a.

10.3.6. Uređaji za očitavanje linijskog bar-koda (skeneri)

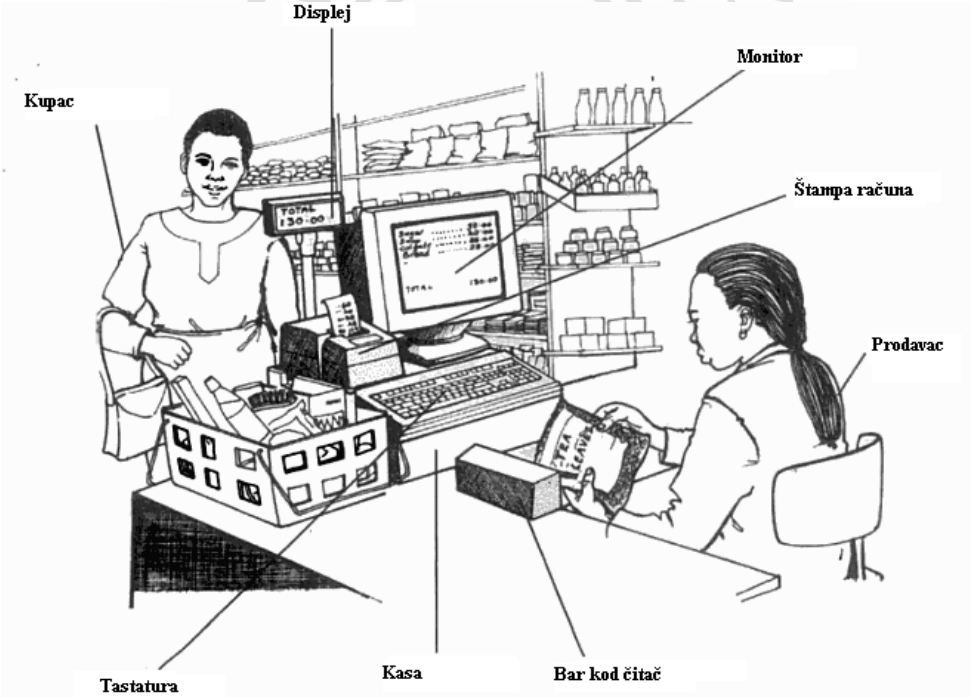
Bar-kod čitač (ili bar-kod skener) je elektronski uređaj za čitanje štampanih bar-kodova. Sastoji se od izvora svetlosti, objektiva, senzora za prevođenje optičkih impulsa u električne

i foto detektora. Postoje različiti oblici bar-kod čitača:

- Fiksni čitači;
- Čitači u obliku olovke ili štapića;
- Laserski čitači;
- CCD čitači.

Da bi se bar-kod mogao pročitati, beli prostor reflektuju svetlo iz bar-kod čitača, dok ga crne apsorbuju. Čitač tumači bele prostore kao slova ili brojeve, zavisno od toga šta je kodirano tj. koje informacije bar-kod nosi. Dakle, podaci koje nosi bar-kod – obično identifikacione podatke, kao što su podaci koji se koriste da bi se jedinstveno identifikovao proizvod, pakovanje ili drugi objekti, se mogu pročitati.

Fiksni čitači se obično koriste u POS terminalima, odnosno u maloprodaji, slika 10.14. Svaki terminal se sastoji od tastature, bar-kod čitača, monitora i štampača. Obično je po jedan terminal lociran na svakoj kasi i povezan je sa računarom putem kabla.



Slika 10.14. *Fiksni čitač bar-kodova u praksi*

U supermarketima svaki proizvod poseduje bar-kod. Glavni kompjuter sadrži sve proizvode koji su prodati i podatke o svakom proizvodu, kao što su broj proizvoda (koji je isti kao na bar-kodu), opis proizvoda i cenu. Ukoliko iz bilo kog razloga, čitač ne može da pročita bar-kod, prodavac može ručno da unese broj bar-koda preko tastature.

Mobilne ili prenosive čitače koriste radnici koji imaju potrebu da skeniraju bar-kodove u hodu. Čitači u obliku štapića su oblik mobilnog čitača. Da bi se sa njim bar-kod pročitao, potrebno je konstantnom brzinom prelaziti preko bar-koda. CCD čitači predstavljaju jedno od novijih dostignuća u oblasti ručnih čitača, jer poseduju i integralno ugrađen detektor. CCD čitač je napravljen od sitnih foto osetljivih ćelija, piksela, na kojima može da se zabeleži slika. Iz ovog razloga, čitač je u mogućnosti da kontinualnu sliku pretvori u "bitmapiranu". Ova vrsta čitača se primenjuje svuda gde je neophodno učestalo i pouzdano čitanje bar-kod simbola.

Laserski čitači se primenjuju svuda gde je onemogućen kontakt čitača i bar-koda. Ovi čitači proizvode zrak energije, tj. zrak svetlosnog snopa pomoću helijum-neonske laserske cevi ili laserske diode. Svetlosni snop se fokusira optičkim sistemom i pada na rotaciono četvorostrano ogledalo ili rotacionu prizmu. Na taj način se dobija brzo pokretni svetlosni snop, koji reflektovan od bar-kod simbola i priključen optičkim sistemom pada na foto detektor. Dobijeni električni signal se pojačava i digitalizuje i zajedno sa tzv. skan-start signalom vodi na dekoder. Dobijena linija očitavanja je vidljiva za rukovaoca uređajem, bilo da je to posledica vidljivog laserskog zraka ili dodatnog svetla koje označava liniju očitavanja. Glavna primena ovih čitača je u robnim kućama, samoposlugama, pri otpremi robe, inventarisanju i kao čitači uz ručne terminale. Na slici 10.15. prikazani su različiti bar-kod čitači.



Slika 10.15. *Fiksni, mobini i integrisani čitači*

10.3.7. Značaj bar-kod tehnologije u lancu snabdevanja

Najveći profiteri uvođenja ove tehnologije su potrošači - primena UPC bar-koda donela je napretke u efikasnosti i produktivnosti koji su značajno uticali na tržišne cene proizvoda kao i na sam kvalitet usluge. Naime, osim uštede u radnoj snazi, bar-kodovi su omogućili prodavcima da detaljno prate životni ciklus proizvoda. Bar-kod je prisutan svuda oko nas. Kada bi odjednom ostali bez njega, mnogi krucijalni poslovni, logistički i industrijski procesi doživeli bi krah usled kompleksnosti i neefikasnosti.

Danas, koncept bar-koda najavljuje revoluciju u svetu novih komunikacija gde u simbiozi sa mobilnim komunikacijama otvara novu dimenziju interakcije između korisnika, realnog sveta i digitalnih sadržaja i servisa. Ova nova tehnologija koja se rodila kao fuzija dobro poznatih koncepta koji su pojedinačno doživeli ogromne uspehe u svojim sferama primene ima potencijal da izazove sledeći talas inovacije u oblasti interakcije i komunikacije sa

mobilnim korisnicima, marketinga kao i ostalih grana poslovanja usmerenih ka krajnjim korisnicima. Takođe, sve su indikacije da upravo ova tehnologija može predstavljati platformu za mobilne servise koji će se najzad približiti popularnosti, efikasnosti i efektivnosti dugi niz godina neprevaziđene usluge SMS-a.

Ako se gleda sa savremene strane informacionih tehnologija, bar-kod predstavlja jednu od primitivnijih. Međutim, mnoge kompanije ne bi mogle da zamisle svoje poslovanje bez ove tehnologije. Značaj bar-koda u lancu snadbevanja se ogleda u tome što predstavlja nosioca informacija o svakom proizvodu posebno. Iako se koristi pretežno za označavanje paketnih pošiljaki i različtih roba koje se nalaze u prodajnim objektima, ova tehnologija može poslužiti i praćenju istih.

UNIVERZITET PRIVATNI AKREDITOVANI UNIVERZITET SINGIDUNUM

Glava 11

Grupna tehnologija

Grupna tehnologija (GT) je proizvodna filozifija po kojoj se slični delovi identifikuju i grupišu zajedno da bi se iskoristile prednosti njihovih sličnosti u proizvodnji i dizajnu. Koncept grupne tehnologije uveo je Mitrofanov. Njegov doprinos ovom važnom konceptu rezimiran je u dvotomnoj knjizi (Mitrofanov 1983).

Slični delovi se uređuju u familije delova. Na primer, fabrika koja proizvodi $10\,000$ različitih delova može biti u stanju da grupiše ogromnu većinu ovih delova u 50 ili 60 odvojenih familija. Svaka familija će posedovati slična dizajnerska i proizvodna svojstva. Otuda, obrada svakog člana familije biće slična, pa to rezultira proizvodnim efikasnostima. Ove efikasnosti se postižu pomoću raspoređivanja proizvodne opreme u proizvodne grupe ili ćelije da bi se olakšao tok proizvodnje. U dizajnu proizvoda ima takođe prednosti koje se dobijaju grupisanjem delova u familije. Ove prednosti leže u klasifikaciji i kodiranju delova.

Grupna tehnologija je prilaz koji traži da se identifikuju oni atributi populacije koji dopuštaju da se njeni članovi sakupe u grupe, ponekad nazvane familije. Članovi svake pojedine grupe poseduju atribute koji su slični. Kada se tretira populacija koja je podeljena u grupe obično se dobijaju efikasnosti i prednosti. Grupna tehnologija se može primeniti u različitim oblastima, uključujući dizajn i proizvodnju. Opisuju se razne metode po kojima proizvedeni delovi mogu da se grupišu u familije (zvane familije delova), uključujući klasifikaciju i kodiranje delova i analizu toka proizvodnje. Metoda analize toka proizvodnje detaljno se izučava u ovom poglavlju. Takođe se ispituje kako definicija familija delova može pomoći u projektovanju optimalnih ćelija za proizvodnju delova. U dodatku na kraju poglavlja nalaze se primeri i kvantitativne analize proizvodnih ćelija.

Procenjuje se da je srednje serijska proizvodnja najopštija forma proizvodnje u svetu koja sačinjava i više od 50% od ukupne proizvodne aktivnosti. Postoji rastuća potreba da se srednje serijska proizvodnja učini efikasnijom i produktivnijom. Takođe, postoji rastući trend ka ostvarivanju višeg nivoa integracije funkcija dizajna i proizvodnje u preduzeću. Jedan od prilaza koji je usmeren u oba ova cilja jeste grupna tehnologija.

Klasifikacija i kodiranje delova odnose se na identifikovanje sličnosti između delova i povezivanje ovih sličnosti sa sistemom kodiranja. Dva tipa atributa delova su: dizajnerski

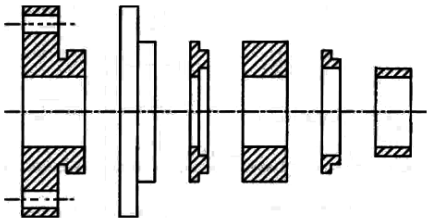
atributi (geometrijski oblik i veličina) i proizvodni atributi (redosled potrebnih obradnih koraka za izradu dela). Iako su obradni koraci potrebni za proizvodnju dela obično u uzajamnoj vezi sa atributima dizajna delova, to nije uvek slučaj. Prema tome, sistemi klasifikacije i kodiranja često se izmišljaju da bi se dopustile razlike između dizajna dela i njegove proizvodnje. Razlog za upotrebu šeme kodiranja je da se olakša ponovno iznalaženje radi dizajnerskih i proizvodnih ciljeva. U dizajnu, na primer, dizajner koji je suočen sa zadatkom razvijanja novog dela može koristiti sistem za dizajnersko ponovno iznalaženje da bi odredio da li sličan deo već postoji. Jednostavna izmena nekog postojećeg dela potrošiće mnogo manje vremena nego projektovanje od polazne tačke. U proizvodnji, šema kodiranja može da se upotrebi u sistemu planiranja automatizovanog procesa.

Grupna tehnologija, klasifikacija i kodiranje delova su blisko povezani. Grupna tehnologija se potčinjava proizvodnom konceptu, ali je obično potrebna neka forma klasifikacije i kodiranja delova da bi se sprovela **GT**.

11.1. Familije delova

Familija delova je zbirka delova koji su slični ili zbog geometrijskog oblika i veličine ili zato što su potrebni slični koraci obrade u njihovoj proizvodnji. Delovi unutar familije se razlikuju, ali njihove sličnosti su sasvim dovoljne da bi zaslužili njihovu identifikaciju kao članovi familije delova.

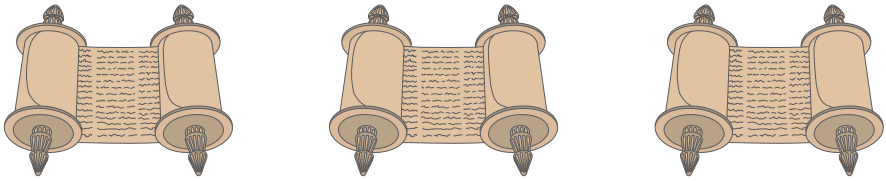
Slike 11.1 do 11.3 prikazuju različite atribute sličnosti. Na slici 11.1 šest delova pripadaju istoj familiji rotacionih delova i zahtevaju slične strugarske operacije. Slika 11.2 prikazuje različite delove koji imaju deo zajedničkih operacija. Najzad, slika 11.3 prikazuje dva dela potpuno identična u dizajnu, ali izrađena od različitih materijala. Zbog ovoga, plastični deo će se uobličiti ubrizgavanjem, dok će se čelični deo liti, strugati i brusiti.



Slika 11.1. *Familija rotacionih delova koja zahteva slične strugarske operacije*

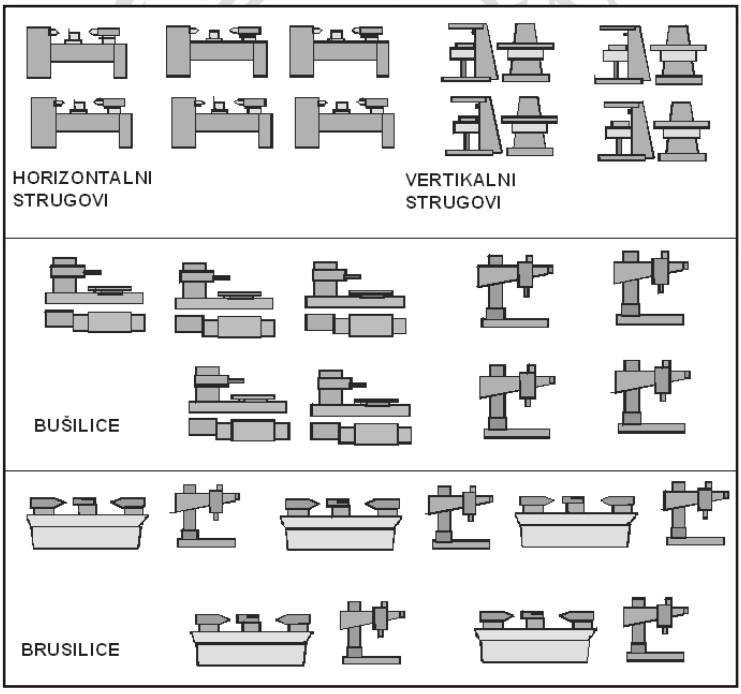


Slika 11.2. *Familija delova koja zahteva slične obradne i montažne operacije*



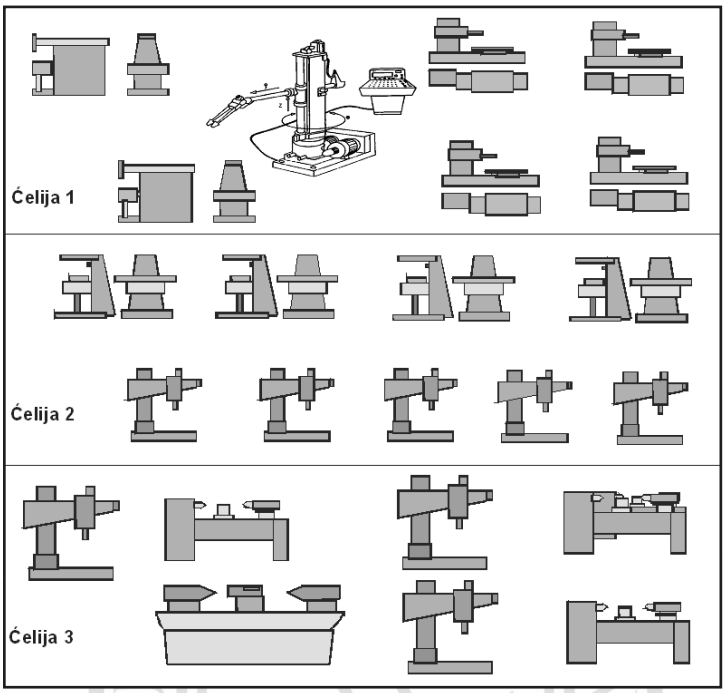
Slika 11.3. *Identično projektovani delovi koji zahtevaju različite proizvodne procese*

Jedna od velikih proizvodnih prednosti grupisanja radnih delova u familije može se objasniti pozivanjem na slike 11.4 i 11.5. Slika 11.4 prikazuje procesni tip rasporeda u mašinskoj radionici za srednje serijsku proizvodnju. Raznovrsne mašine alatljike raspoređuju se po funkciji. Postoji odeljak strugova, dva odeljka glodalica. odeljak bušilica i odeljak brusilica. Za vreme mašinske izrade datog dela, radni komad mora da se kreće između odeljaka, pri čemu možda posećuje isti odeljak nekoliko puta. To ima za posledicu značajan iznos unutrašnjeg transporta, velike zalihe u toku, obično više priprema nego što je potrebno, duga vremena upravljanja proizvodnjom i visoke troškove.



Slika 11.4. *Funkcionalni/procesni tip rasporeda*

Slika 11.5 prikazuje proizvodnu radionicu sa ekvivalentnim kapacitetom, ali sa mašinama koje raspoređene u ćelije. Svaka ćelija se organizuje da bi se specijalizovala za proizvodnju posebne familije delova. Prednosti se dobijaju u vidu smanjenog transporta radnih komada, manjih vremena pripreme. Manjih zaliha u toku i kraćih vremena upravljanja.



Slika 11.5. *Grupno-tehnološki/ćelijski raspored*

Neke proizvodne ćelije mogu da se projektuju tako da formiraju proizvodne protočne linije sa konvejerima upotrebljenim za transport radnih delova između mašina u ćeliji.

Najveća pojedinačna prepreka u prelasku od tradicionalne proizvodne radionice do grupne tehnologije jeste problem grupisanja delova u familije. Postoje tri opšte metode za rešavanje ovog problema. Sve tri metode su vremenski duge i obuhvataju analizu mnogo podataka od strane dobro obučenog kadra. Te tri metode su:

1. vizuelna inspekcija;
2. klasifikacija i kodiranje delova; i
3. analiza toka proizvodnje.

Metoda vizuelne inspekcije je najjednostavnija metoda, ali sa ograničenom efikasnosti po pitanju tretiranja velikog broja delova. Ona obuhvata klasifikovanje delova u familije uz posmatranje delova ili njihovih fotografija. U principu, druge dve metode se mnogo šire upotrebljavaju u formiranju familija delova i proizvodnih grupa ili ćelija.

Klasifikacija i kodiranje delova, obuhvata klasifikovanje delova u familije uz ispitivanje pojedinačnog dizajna i/ili proizvodnih atributa za svaki deo. Klasifikacija rezultuje kodiranim brojem koji jedinstveno identifikuje atribute dela. Ta klasifikacija i kodiranje mogu da se izvrše po celom spisku aktivnih delova firme ili neka vrsta postupka uzorkovanja može da se upotrebi da bi se ustanovile familije delova. Na primer, delovi proizvedeni u

radionici za vreme nekog datog vremenskog perioda mogu da se ispitaju da bi se identifikovale kategorije familija delova. Nevolja sa nekim postupkom uzorkovanja jeste opasnost da uzorak može biti nereprezentativan za čitavu populaciju. Metoda klasifikacije i kodiranja delova izgleda da je danas najšire upotrebljavana metoda, iako je najkomplikovanija i od sve tri metode troši najviše vremena. Brojni sistemi klasifikacija i kodiranja razvijeni su širom sveta, pa ima nekoliko komercijalno raspoloživih paketa koji se prodaju industrijskim preduzećima. Međutim, nijedan nije univerzalno prihvaćen. Pošto svaka fabrika ima svoje vlastite specifične potrebe i uslove, neophodno je traganje za pogodnim sistemom koji može da se adaptira specifičnim potrebama i zahtevima fabrike. Neophodno je da adaptiran sistem bude pogodan za upotrebu od strane svih zainteresovanih odeljenja u fabrici.

Za grupno tehnološke primene, dobro projektovan sistem klasifikacije i kodiranja treba da bude sposoban da delovima dodeljuje takve kodove na osnovu kojih delovi mogu da se grupišu u familije delova.

Metoda analiza toka proizvodnje, prvenstveno upotrebljava informacije sadržane na putnim listama a potom i crteže delova. Radni delovi sa identičnim ili sličnim putanjama klasifikuju se u familiju delova.

11.2. Analiza toka proizvodnje

Analiza toka proizvodnje (ATP) jeste metoda za identifikovanje familija delova i odgovarajuće grupisanje mašina alatljika. Ona ne upotrebljava sistem klasifikacije i kodiranja, niti upotrebljava crteže delova za identifikaciju familija. Umesto toga, ATP upotrebljava analizu redosleda operacija i putanja delova kroz mašine u datoj radionici. Delovi sa identičnim ili sličnim operacijama i putevima grupišu se i identifikuju kao familija delova. Slično, mašine upotrebljene za proizvodnju familija delova mogu da se grupišu da bi se formirale logične grupe mašina ili ćelije u grupno tehnološkom rasporedu. Pošto ATP upotrebljava pre proizvodne podatke nego dizajnerske za identifikovanje familije delova, omogućuje da se identifikuju različiti zahtevi:

- delove čije su osnovne geometrije različite mogu zahtevati slične ili identične procese,
- delove sličnih geometrija mogu zahtevati sasvim različite procesne putanje.

ATP ne obezbeđuje mehanizam za racionalizaciju proizvodnih putanja.

Koncept ćelijske proizvodnje (koncept ATP) predstavlja postupak dekonponovanja proizvodnog sistema na podsisteme, jednostavnije za upravljanje. Na osnovu binarne matrice mašine se grupišu u proizvodne ćelije (PĆ) a delovi u familije delova (FD).

Analizi toka proizvodnje se organizuje kroz sledeće postupke

1. Prikupljanje podataka: obuhvata obim delova (populacija koja se analizira), redosled operacija (iz putnih lista). Dodatni podaci kao što su veličina serije, vremenski standardi i godišnji obim proizvodnje se koriste za projektovanje kapaciteta proizvodne ćelije.

Tabela 11.1. *Format tabele za organizovanje podataka o procesnim putanjama u analizi toka proizvodnje*

Broj dela	Kodirani brojevi mašina pokazuju redosled procesa						Podaci: Veličina serija, vreme, itd.
34235	01	03	07	09	10		25

2. Sortiranje procesnih putanja: obuhvata raspoređivanje delova u grupe prema sličnosti njihovih procesnih putanja. Praktični korak je kodiranje prikupljenih podataka u koraku 1 u računaru.

Postupak sortiranja se upotrebljava po delovima kako bi se uredili paketići (grupe delova sa istim procesnim putanjama) Paketić poseduje identifikacioni broj ili slovo.

Tabela 11.2. *Pojednostavljeni prikaz kodiranih brojeva koji ukazuju na potrebne procese i mašine*

Proces	Kod
Bušilica 1	01
Bušilica 2	02
Strug 1	03
Strug 2	04
Glodalica 1	05
Brusilica 1	06
Brusilica 2	07

3. Binarna matrica A prikazuje procese koji se upotrebljavaju za svaki paketić. Pojednostavljena verzija matrice $A = [a_{ij}]$ prikazana je u obliku tabele 11.2, gde je:

$$a_{ij} = 1 \quad \text{ako mašina obrađuje paketić } j$$
$$a_{ij} = 0 \quad \text{ako mašina ne obrađuje paketić } j$$

za $(i = 1, 2, \ldots, m;\ \ j = 1, 2, \ldots, n)$.

4. Matrica A je samo karta kodiranih brojeva procesa za sve paketiće koji su određeni. Po pravilu je $n > m$. Ova matrica nije jednoznačno definisana budući da se j-ti paketić može proizvoljno dodeljivati.

5. Analiza je subjektivan i najteži korak, ovo je presudan korak u postupku analize toka proizvodnje. Iz strukture podataka izložene u tabeli A, moraju da se identifikuju slične grupe. To može da se učini preuređenjem vrsta i kolona u originalnoj tabeli A u novu strukturu koja donosi zajedničke paketiće sa sličnim putanjama.

6. Matrica Q predstavlja matricu transportnog intenziteta (karta od-do). To je kvadratna

matrica sa elementima $q_{ij} \geq 0$ koji označavaju broj jediničnih tereta koji treba da se u posmatranom vremenskom intervalu transportuju od mašine i do mašine j. Matrica Q omogućuje da se reši raspored ćelija, a potom raspored pojedinih mašina unutar svake ćelije.

Tabela 11.3. *Matrica A pre grupisanja*

Kodirani brojevi mašina	Identifikacioni kodovi paketića											
	01	**02**	**03**	**04**	**05**	**06**	**07**	**08**	**09**	**10**	**11**	**12**
01	1											
02												
03												
04												
05												
06												
07												
08												
09												
10												
11												
12												

Za rešavanje problema grupisanja mašina i delova razvijen je veliki broj algoritama. Klasifikacija algoritama grupisanja (klasterovanja) i neke zapažene reference publikovane u literaturi proizvodnje i operacionih istraživanja navode se u Kusiak (1988).

Tabela 11.4. *Matrica A posle grupisanja*

	Identifikacioni kodovi paketića											
	01	06	08	04	02	09	05	11	03	07	10	12
07	1	1	0	0								
10	1	0	1	1								
01	1	1	1	1								
03	1	1	1	1								
06					1	1	0	0				
12					0	0	1	0				
04					1	0	1	1				
09					0	1	0	1				
08									1	0	1	0
11									1	1	1	1
02									0	1	0	1
05									0	1	0	1

Tipičan problem grupisanja može obuhvatiti nekoliko stotina mašina (vrsta u matrici A) i nekoliko hiljada delova (kolona u matrici A).

Podaci upotrebljeni u analizi izvedeni su iz proizvodnih putnih lista. Redosledi procesa

iz ovih putnih lista su pripremljeni od raznih planera procesa, pa se ove razlike reflektuju na putne liste. Putanje mogu sadržati obradne korake koji su ne optimalni, nelogični i nisu za upotrebu. Konačna grupisanja mašina koja rezultuju iz analize mogu biti suboptimalna. ATP ima vrlinu da zahteva manje vremena za izvršenje nego potpuni postupak klasifikovanja i kodiranja delova. Ona, dakle, obezbeđuje tehniku koja je atraktivna za mnoge fabrike zbog stvaranja prelaza na grupno tehnološki raspored mašina.

11.3. Projektovanje proizvodnih ćelija

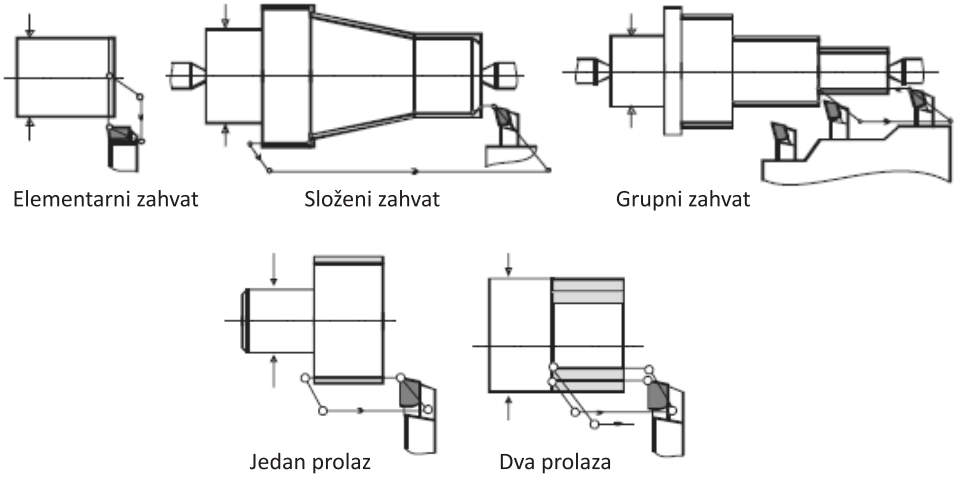
Projektovanje proizvodnih ćelija je od posebnog značaja i on se mora rešiti. Familije delova i grupe mašina određene pomoću klasfikacije i kodiranja delova ili pomoću analize toka proizvodnje. Za grupne tehnologije su bitna dva aspekta:

- koncept kompleksnog dela, i
- koncept ključne mašine.

Krajnji cilj projektovanja je specifikovanje potreba u proizvodnoj opremi. Da bi se to rešilo, predlaže se kvantitativan prilaz.

Koncept kompleksnog dela

Familije delova karakterišu slične dizajnerske i proizvodne karakteristike njihovih članova. Koncept kompleksnog dela preuzima ovu definiciju familije delova u svoj logičan zaključak. On podrazumeva hipotetičan deo koji predstavlja sve dizajnerske i odgovarajuće proizvodne atribute posedovane od raznih pojedinaca u familiji. Slika 11.6 ilustruje grupu delova koju predstavlja takav hipotetički deo koji poseduje sve crte oblika i obradne odlike familije delova koja je ilustrovana na slici 11.1. Da bi se proizveo jedan od članova familije delova, operacije se dodaju i brišu u skladu sa atributima dizajna posebnog dela.



Slika 11.6. *Koncept kompleksnog obradnog dela*

Proizvodna ćelija će se projektovati za obezbeđenje svih S mogućnosti mašinske izrade. Mašine, pribori i alati će se pripremiti za efikasan tok radnih delova kroz ćeliju. Deo sa svih S atributa, kao što je kompleksni deo na slici 11.6, će ići kroz svih S obradnih koraka. Za projektovani deo bez svih S svojstava, nepotrebne operacije će se jednostavno izostaviti.

Koncept kompleksnog dela je praktično koristan zbog vizuelnog prikazivanja problema projektovanja proizvodnih ćelija.

Koncept ključne mašine

Postoje sličnosti u radu proizvodne ćelija grupne tehnologije i ručne montažne linije. Koncept linijskog uravnoteženja je primenljiv. Ravnomerno rasprostiranje radne norme između mašina u ćeliji je poseban zahtev. Neke od mašina u grupnoj tehnologiji su mnogo skuplje od drugih mašina. Bitno da je veliki stepen iskorištenosti ovih skupljih mašina. Kao posledica se javlja manji stepen iskorištenosti drugih mašina u ćeliji. Skuplja mašina pominje se kao "ključna mašina". Ostale mašine se pominju kao "sporedne mašine" i one treba da se organizuju u ćeliji da bi se zaposlila ključna mašina. Zaključak je da ključna mašina postaje usko grlo u sistemu.

Razlikujemo dve mere iskorištenost i u GT ćeliji:

- iskorištenost ključne mašine, i
- globalne ćelije.

Kvantitativnu analiza proizvodnih ćelija

Prethodna procena neophodnih kapaciteta za sistem kao celinu i individualne-proizvodne ćelije je neophodna zbog blagovremene nabavke opreme i obuke potrebnog broja radnike neophodnih za rad. Prethodno će se izučiti procena kako se to čini za jednu ćeliju koja može uključiti mašinu ili čitavo odeljenje, a potom će se proširiti analiza na više ćelija.

Potrebna oprema za jednu proizvodnu ćeliju

Procena potrebnih kapaciteta i opremu zahteva:

- procena tražnje za svaki period u horizontu planiranja izražena preko broja ispravnih jedinica potrebnih po periodu i dobijena iz detaljnog predviđanja tražnje, i
- procena vremena obrade za ćeliju gde ce se koristiti oprema. To se obično dobija pomoću neke metode za merenje rada.

Neka su:

- P – proizvodna stopa po ćeliji, jedinice izlaza po periodu;
- T – vreme obrade po jedinici, min;
- D – trajanje radnog perioda, h (za jednu smenu $\mathrm{D} = 8$, za dve $\mathrm{D} = 16$, a za tri $\mathrm{D} = 24$);

- E – efikasnost opreme izražena kao procenat radnog vremena po periodu (ona uzima u obzir očekivne prekide za pripreme, popravku kvara ili druge razloge nerada); i
- N – potreban broj mašina po ćeliji.

Proračun potrebne opreme je:

$$\mathrm{N} = \left\lceil \frac{\mathrm{T} \cdot \mathrm{P}}{60 \cdot \mathrm{D} \cdot \mathrm{E}} \right\rceil \tag{11.1}$$

Primer: Pretpostavlja se da odeljenje proizvodnje mora dostaviti $4\,000$ ispravnih delova dnevno do drugog odeljenja za montažu. Vreme obrade je $4,00\,\mathrm{min/jedinici}$, rad se odvija u dve smene $\mathrm{D} = 16$, a efikasnost opreme za dve smene dnevno procenjuje se na 90 procenata. Potrebna oprema je:

$$\mathrm{N} = \left\lceil \frac{\mathrm{T} \cdot \mathrm{P}}{60 \cdot \mathrm{D} \cdot \mathrm{E}} \right\rceil = \left\lceil \frac{4,00 \cdot 4\,000}{60 \cdot 16 \cdot 0,9} \right\rceil = 18,518 = 19\,\text{mašina}$$

Veoma bitno je da se detaljnije ispita proizvodna stopa po ćeliji P. Ukupan broj obrađenih jedinica u ćeliji uključuje ispravne jedinice P^+ koje mogu da se transportuju do sledeće proizvodne ćelije i neispravne jedinice P^- koja se odbacuje:

$$\mathrm{P} = \mathrm{P}^+ + \mathrm{P}^- \tag{11.2}$$

gde su: P^+ ispravne jedinice, a P^- neispravne jedinice.

Neispravna jedinica može da se izrazi kao procenat neispravnih jedinica p od ukupnog broja obrađenih jedinica. Preuređujući (11.2), dobija se

$$\mathrm{P}^+ = \mathrm{P} - \mathrm{P}^- = \mathrm{P} - \frac{\mathrm{P}^-}{\mathrm{P}}\,\mathrm{P} = \mathrm{P} - \mathrm{p}\,\mathrm{P} = \mathrm{P}\,(1 - \mathrm{p})$$

i

$$\mathrm{P} = \frac{\mathrm{P}^+}{1 - \mathrm{p}}$$

gde je p procenat neispravnog izlaza ćelije.

Na osnovu prethodnog primera, ako je broj potrebnih ispravnih delova $4\,000$ dnevno i za proučavanu ćeliju neispravan izlaz iznosi do 4 procenta, izlazna stopa mora da se promeni kao što sledi:

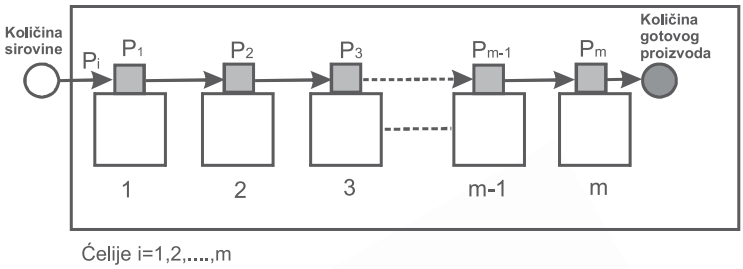
$$\mathrm{P} = \left\lceil \frac{4\,000}{1 - 0,04} \right\rceil = 4\,164\,\text{jedinica}$$

$$\mathrm{N}' = \left\lceil \frac{4,00 \cdot 4\,164}{60 \cdot 16 \cdot 0,90} \right\rceil = 19,277 = 20\,\text{mašina}$$

Potrebna oprema za uzastopne proizvodne ćelije

Proizvodni pogon je sastavljen od nekoliko ćelija u nizu kroz koje se proizvodi transportuju da bi se završile sve potrebne operacije. Definisanje potrebne opreme za svaku ćeliju

realizuje se pomoću jednačine 11.1. Za svaki korak uzimaju u obzir posebni radni uslovi koji se primenjuju u toj ćeliji. Upotrebljena procedura može lakše da se objasni pozivanjem na sliku 11.7, koja ilustruje višećelijski proces.



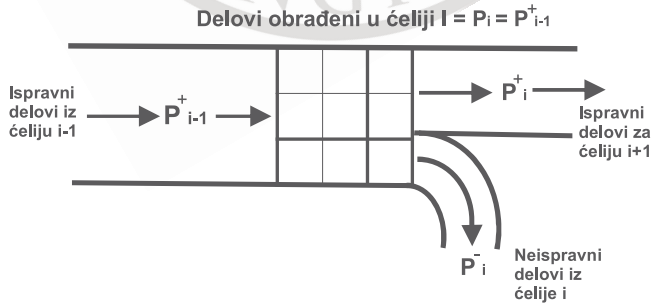
Slika 11.7. *Višećelijski proces*

Broj komada koji protiče između ćelija smanjuje se sa brojem ćelija dovršavanja. On odražava gubitke neispravnih jedinica i razne razlike u radnim svojstvima za svaku ćeliju, tj. stanje opreme, efikasnost održavanja i obuku rukovaoca. Ako se bliže ispita izvršeno pretvaranje o tipičnoj ćeliji i, dobija se šema toka kao na slici 11.8, gde ćelija / prima neki iznos ispravnih jedinica od ćelije $i-1$ jednak P^+_{i-1}. Posle završetka obrade u i, dobija se količina ispravnih jedinica P^+_i, koja može da napreduje do sledeće ćelije i iznos neispravnih jedinica P^-_i. U simbolima ovaj odnos održanja toka je

$$P^+_{i-1} = P^+_i + P^-_i$$

Da bi se ispunio očekivani nivo tražnje jednak P gotovih jedinica, tok kroz uzastopne ćelije mora zadovoljiti sledeće ravnotežne jednačine:

$$P^+_{i-1} = P^+_i + P^-_i = P_i \qquad (i = 1, 2, \ldots, m)$$
$$P^+_m = P$$



Slika 11.8. *Šema toka*

Za svaku ćeliju određivanje potrebne opreme ako neispravne jedinice ne mogu da se dorade zasniva se na odnosu

$$N = \left[\frac{T_i \cdot P_i}{60 \cdot D \cdot E_i}\right] \qquad (i = 1, 2, \ldots, m). \tag{11.3}$$

Kada se upotrebljava izraz (11.3) pretpostavlja se da sve ćelije rade istovremeno.

Za neke operacije moguća je dorada nekih neispravnih jedinica, dok se ostatak jednostavno odbacuje kao škart. Ako je ekonomski opravdano doraditi takve jedinice tako da one prođu kvalitativne preglede, neophodno je izračunati dodatne potrebe u opremi i rukovaocima za izvršavanje ovog zadatka. Dorađivanje neispravnih jedinica može zahtevati različita vremena obrade i specijalnu opremu koja može raditi s različitim efikasnostima. To spada u posebne zahteve koji se podržavaju izdvojeno od redovne proizvodnje. Može se upotrebiti modifikovani izraz

$$N = \left[\frac{T'_i \cdot P'_i}{60 \cdot D \cdot E'_i} \right],$$

- i – ćelija gde je dorada neispravnih jedinica moguća;
- T'_i – vreme dorade neispravne jedinice iz ćelije i;
- P'_i – broj jedinica P''_i, iz neispravnog izlaza ćelije i koji može da se doradi.

Ako se dorada vrši u istoj oblasti i sa istim mašinama koje se upotrebljavaju za redovnu proizvodnju, ukupne potrebe u opremi za ćeliju i će biti $N_i + N'_i$.

Procena procenta neispravnog izlaza p

Nivo kvaliteta procesa transformacije se najčešće ocenjuje pomoću procenta neispravnog izlaza p. Procenta neispravnog izlaza p može da se oceni iz uzoraka izlaza proizvodnog sistema, prikupljenih za vreme osnovnog perioda tipičnog za buduća stanja: u uslovima obučavanja radnika, politika održavanja, kvaliteta sirovina itd. Proizvodne evidencije, prošli radni nalozi, snabdevanje materijalima ili delovima, radni uslovi, obuka radnika, održavanje omogućuju primenu statističkih metoda za ocenu p. Ocena p novog proizvodnog sistema može da se izvede iz uporedivog iskustva u istoj industriji ili iz specijalnih studija koje tretiraju prethodno spomenute faktore na sistematičniji način.

Ako svaka ćelija ne primenjuje 100% kontrolu kvaliteta, izlazna stopa se ne može kvalitetno proceniti, a neke neispravne komponente se ne mogu u potpunosti eliminisati. Proizvodni sistem treba, u principu, da obezbedi viši nivo kvaliteta, ali i pored toga što su stope nedostataka obično veoma:

- $1 \div 2\%$ u slučaju mašinske obrade,
- $2 \div 5\%$ u slučaju montaže,
- $5 \div 7\%$ ili više u slučaju pranja delova ako se ne izvršava pomoću robota.

Zbog ekonomskih razloga komponente se u mnogim sistemima često prenose od jedne do druge ćelije dok se ne otkrije mana (Ranky 1966).

Određivanje efikasnosti ćelije E

Efikasnost se definiše kao

$$E = \frac{H}{D}$$

gde su:

- E – efikasnost ćelije proizvodnog sistema;
- H – očekivano vreme rada po periodu, h;
- D – trajanje radnog perioda, h;
- T_1 – prekid, h;
- T_2 – vreme pripreme za obradu različitih naloga po periodu, h.

Vreme pripreme se daje i u minutima po ćeliji po analiziranom periodu vremena, označavajući vreme montiranja predmeta rada u slučaju ručno upravljanih mašina i vreme potrošeno na automatizovanoj izmeni paleta u slučaju ćelija proizvodnog sistema za vreme proizvodnje specifikovane serije ili više komponenti.

Prekid se daje i u minutima po ćeliji po analiziranom periodu vremena: suma vremena kada mašina ne vrši produktivan rad zbog neke mane, zbog održavanja ili drugih razloga. Analizirani period je iskorišćeno vreme za procenu procesne pripreme i vrednosti prekida.

Kod naprednih proizvodnih tehnologija deo radnog perioda se potroši u prinudnom neradu. To može biti usled potrebne popravke, specijalnih podešavanja mašina za vreme rada, prekida struje, ili zastoja u isporukama sirovina i delova. Mera efikasnosti date ćelije zavisi od:

1. upotrebljene politike održavanja.
2. načina rukovanja opremom (brzine rada, podešavanja itd.); i
3. tipa upotrebljene opreme;

Automatizaciji operacija stvara složene probleme u ostvarenju pouzdanih performansi. Procena pouzdanosti sistema i presudna uloga održavanja u ostvarenju visoke efikasnosti. Za izvesne tipove opreme preventivno održavanje može biti najefikasniji prilaz za redukovanje prekida i direktno povećanje efikasnosti. To zahteva odličnu koordinaciju sa funkcijom operativnog planiranja u cilju stvaranja minimalnih troškova kod popravki, prekida i preventivnog održavanja pri održavanju brzih isporuka. Obuka i motivacija rukovaoca ima za cilj preventivno sprečavanje kvarova koji dovode do dugih i skupih otkaza.

Određivanje bruto potreba za svaku proizvodnu ćeliju

Kada se ćelija istih mašina upotrebljava za proizvodnju više serija komponenata za vreme istog vremenskog perioda po slučajnom ili nekom planiranom redosledu, onda nepodešene vrednosti ćelijskih potreba za svaku seriju

$$N = \left[\frac{\sum_{j=1}^{n} T_{ij} \cdot P_{ij}}{60 \cdot D \cdot E_i} \right] \qquad (i = 1, 2, \ldots, m). \tag{11.4}$$

Sledi

$$P_{ij} = \left[\frac{P_{ij}^{+}}{1-p_{ij}}\right] = \left[\frac{P_{i+1\,j}}{1-p_{ij}}\right] \qquad (j = 1,2,\ldots,n;\ i = m, m-1,\ldots,1),$$

$$P_{m+1\,j} = P'_{mj} = [P_j] \qquad (j = 1,2,\ldots,n).$$

Ovaj prilaz je analogan predloženim determinističkim modelima za AGVS i AS/RS. On obezbeđuje uravnoteženje automatizovane proizvodnje sa AGVS-om i AS/RS-om.

Određivanje neto potreba za svaku proizvodnu ćeliju i potreba za rukovaocima

Ukupni broj mašina potrebnih po ćeliji za ispunjenje datog izlaznog obima je decimalni broj. Ako mašine ne mogu vremenski da učestvuju u obradi drugih komada, proračunate potrebe moraju da se zaokruže na sledeću veću celobrojnu vrednost. Posledica zaokruživanja decimalnih potreba u opremi je stvaranje nekorisnog kapaciteta (manji broj mašina izaziva nedostatak kapaciteta).

Neophodno je razmotriti i mogućnost zaključivanja pod ugovora sa drugim kompanijama radi iskorištenja viška kapaciteta. Pored toga deo sličnih mašina upotrebljava se za nekoliko proizvoda. Brojne potrebe mogu da se saberu da bi se odredila neto potrebna oprema po proizvodnoj ćeliji. Minimalne potrebe moraju da se podese da bi se uzela u obzir vremena prelaza ili pripreme u smeni proizvodnih serija.

Mašinski rukovaoci moraju posedovati posebna znanja za rad na mašinama. Ako se zahteva jedan rukovalac po mašini tada će za i fazu broj rukovalaca biti jednak N_i. Poseban je problem kada pri radu na mašinama postoje zahtevi za specijalizovanim znanjima radnika. To zahteva usklađivanje vremena ciklusa specijalizovanih radnika sa vremenima ciklusa mašina.

Glava 12

Fleksibilni proizvodni sistemi

Termin fleksibilni proizvodni sitemi (FMS) izveden je iz činjenice da su ovi sistemi sposobni za proizvodnju različitih delova ili proizvoda bez značajnog prekida za prelaz.

12.1. Istorijski razvoj fleksibilnih proizvodnih sistema

Ideju je kreirao britanski inženjer David Williamson tokom 1960-ih godina. Taj koncept je bio nazvan SISTEM 24 zato što su verovali da će grupa mašina obuhvatiti sisteme koji bi mogli vršiti operacije 24 sata dnevno, od kojih bi 16 sati bilo bez nadzora ljudske radne snage. Originalni koncept je uključivao kompjutersku kontrolu numerčki upravaljnih mašina, proizvode različitih varijanti i oblika delova, korišćenje različitih alata u procesu kao i drugih mašinskih operacija.

Jedni od prvih FMS-a su instalirani u SAD u velikim kompanijama kao što su Ingersoll-Rand, Caterpillar, John Deere, and General Electric Company. Ovakve velike kompanije su imale potrebna sredstva za finansiranje neophodnih i velikih investicija, a kao preduslov su imale veliko iskustvo u numeričko upravljanim mašinskim sistemima i kompjuterskoj proizvodnji sa novom tehnologijom.

Da su koncepti i modeli automatizacije postupaka projektovanja tehnoloških montažnih sistema danas interesantni za istraživanje kako u teoretskom tako i u praktičnom smislu, potvrđuju u najkraćem sledeće činjenice:

- Konvencionalni pristup projektovanju tehnoloških montažnih sistema sve više prelazi sa statičkog na dinamički. Česte promene u proizvodim programima uslovljavaju česte promene i u montažnim sistemima.
- Savremeni tržišni zahtevi se odlikuju učestalim zahtevima za sve bržim razvojem novih proizvoda i novih varijanti postojećih proizvoda. Vreme potrebno za razvoj, proizvodnju i montažu proizvoda se sve više skraćuje.
- Proces montaže obično obuhvata najveći deo ukupnog vremena potrebnog za proizvodnju, veoma je bitno istražiti mogućnost poboljšanja kako procesa montaže, tako i mogućnost određenih izmena u konstrukciji proizvoda koje bi olakšale sklapanje

proizvoda i skratile vreme montaže. Uz adekvatnu računarsku podršku, lakše je obezbediti ažurnost i tačnost informacija vezanih za izmene u konstrukciji.

Razlike između instaliranja FMS-a i implementacije u ručni upravaljane mašinske elemente je sledeća:

1. FMS zahteva veća kapitalna ulaganja zbog instaliranja nove opreme, tamo gde su ručno upravaljani mašinski elementi mogli zahtevati postojeću opremu da bi se reorganizovali, i
2. Tehnologija FMS pored veštine i iskustva omogućuje: veći stepen iskorištenja mašina, smanjenje skladišnog prostora u fabrici, manji inventar i vreme za proizvodnju, veću produktivnost radne snage i velike odgovornosti menadžmenta pri promenama.

12.2. Osnovni pojmovi

Fleksibilni proizvodni sistem (fleksibilni tehnološki sistemi) predstavljaju realizaciju ideje o istovremenom povećanju stepena automatizacije procesa obrade, montaže, transporta i manipulacije predmeta i alata, uz povećanje nivoa fleksibilnosti promenom odgovarajućeg upravljačkog sistema. termin je izveden iz činjenice da su ovi sistemi sposobni za proizvodnju različitih proizvoda bez značajnog prekida i prelaza.

Drugim rečima, integracijom obradnih sistema (**NC/CNC**, **FTC**, **AC**, **PLC**), skladišnih sistema, manipulacionih sistema (**IR**), **CAQ** i transportnih sistema pomoću informacionih tehnologija formiraju se fleksibilni tehnološki sistemi FTS. Koristi se i akronim **FMS** (*Flexible Manufacturing System*). FMS može da sadrži:

- fleksibilnu automatizaciju,
- grupne tehnologije,
- računarske numerički upravljane (CNC) mašine alatljike,
- direktno računarsko upravljanje (DNC) mašinama i unutrašnjim transportom.

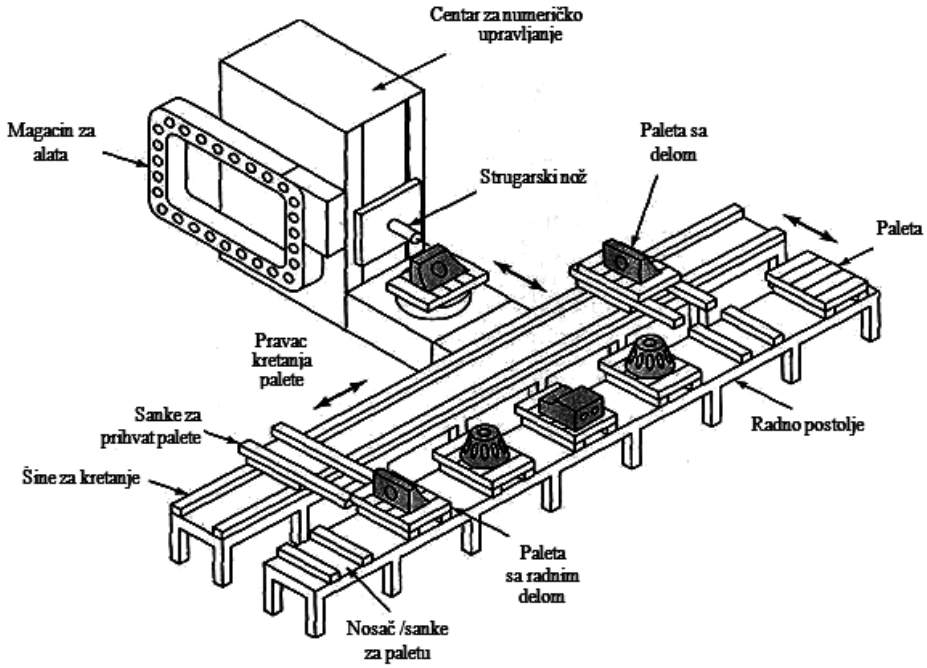
Prema geometrijskom obliku delova koji se izradjuju u okviru FMS razlikujemo FMS za obradu:

- rotacionih delova,
- rotacionih i prizmatičnih delova,
- prizmatičnih delova.

Imajući u vidu raspored mašina i vezu između njih razlikujemo FMS sa:

- rednim rasporedom mašina,
- paralelnim rasporedom mašina,

- kombinovanim rasporedom mašina.



Slika 12.1. *Jedan mašinski element koji čini jedan centar za kompjutersko numeričko upravljanje i skladišna jedinica za delove*

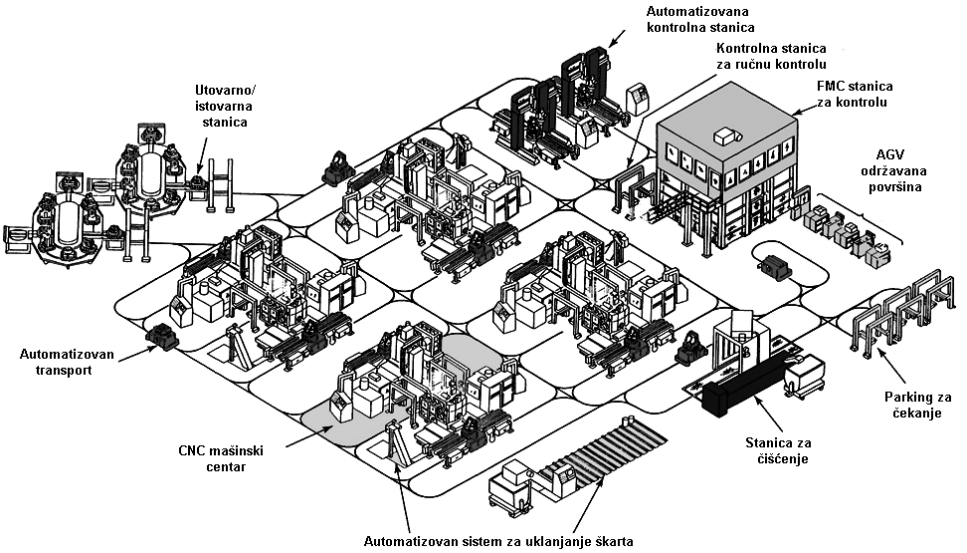
Fleksibilni proizvodni sistem predstavlja: automatizovani sistem koji omogućuje proizvodnju jedne ili više familija delova na fleksibilan način. Fleksibilnost čine sledeće komponente:

- proizvodnja različitih proizvoda na istim mašinama i isti proizvodi na različitim mašinama,
- proizvodnja novih proizvoda na postojećim mašinama,
- mogućnost mašina da odgovore na promenu u dizajnu proizvoda.

Fleksibilni proizvodni sistemi su tako različiti kao i proizvodni zadaci, koje oni treba da rešavaju. Mogućnosti kombinovanja mašina, transporta obratka i sistema upravljanja su neograničene. **Pod fleksibilnim proizvodnim sistemom se podrazumeva grupa numerički upravljanih mašina, koje su povezane sa automatizovanim sistemom transporta, skladišnog sistema i integrisanog računarskog sistema**.

Za svaki deo koji se izrađuje postoji isprobani program za obradu memorisanu u centralnoj datoteci. Više različitih (međusobno dopunjavajućih) ili istih (međusobno zamenjivih) NC-mašina izvode sve neophodne obrade na obradcima jedne familije, tako da nastaje

automatski tok obrade. Pri tome se automatski tok obrade po mogućnosti ne prekida zbog ručnog postavljanja alata ili stezanja obratka. Stoga se sa ovim sistemima može premostiti vreme pauze, a nakon završetka radne smene može se nastaviti rad sa redukovanim brojem radnika. U visoko automatizovanim sistemima u obradni i informacioni tok mogu takođe biti uključeni skladišta materijala, merne mašine i automatsko upravljanje alatom, slika 12.2.



Slika 12.2. *Prikaz strukture fleksibilnog proizvodnog sistema*

12.3. Osnovne komponente fleksibilnih proizvodnih sistema

Fleksibilne proizvodne sisteme čine:

- FMS obradne ćelije (radne stanice);
- Sistem unutrašnjeg transporta i skladištenja;
- Računarski upravljački sistem.

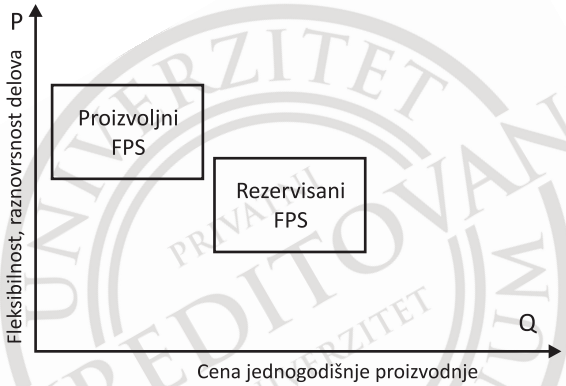
Osnovne odrednice fleksibilnog proizvodnog sistema su:

- različiti obradci,
- sa različitim obradama,
- u proizvoljnom redosledu,
- u promenljivim veličinama serija,

- automatski, bez manuelnih zahvata,
- ekonomično proizvoditi.

Postoji i drugi način klasifikacije FMS u skladu sa nivoima fleksibilnosti projektovanim za sistem. Ovaj metod klasifikacije se može primeniti na bilo koji broj radnih stanica (mesta). Iz ovoga se mogu izvesti dve kategorije fleksibiliteta: rezervisan i slučajan ili proizvoljan fleksibilni proizvodni sistem FMS.

U ova dva tipa sistema se vidi povezanost između fleksibilnosti i produktivnosti. Rezervisan FMS je manje fleksibilan ali sposoban za dostizanje visoke proizvodnje. Slučajni FPM je više fleksibilniji ali imamo nižu cenu proizvodnih troškova. Komparacija ove dve kategorije FPS se može prikazati kao na slici 12.3.



Slika 12.3. *Komparacija proizvoljnih i rezervisanih FMS*

Sledi komparacija FMS rezervisanog i proizvoljnog FMS u uslovima primene četiri fleksibilna testa.

Tabela 12.1. *Fleksibilni kriterijum (test fleksibilnosti)*

Tip sistema	1. Test raznovrsnosti delova	2. Test tabelarnih promena	3.Test otklanjanja grešaka	4.Test sa novim delovima
Rezervisan FMS	Ograničenje, Svi delovi su poznati kao napredni	Ograničene promene se mogu tolerisati.	Ograničenje serijske proizvodnje.	Ne. Predstavljanje novih delova je teško.
Proizvoljan FMS	Da. Mogućnost odstupanja od suštinskog dela	Učestane i značajne promene su moguće.	Suvišnost ili izlišnost mašina umanjuje efekat otkaza.	Da. Sistem je dizajniran za predstavljanje i uvođenje novih delova.

12.3.1. FMS obradne ćelije

Proizvodnja i montaža opreme za rad koja se koristi u FMS zavisi od posla koji će se izvršavati. Ukoliko su sistemi projektovani za mašinske operecije, princip proizvodnih

sistema se ogleda u kompjuterski upravljanim mašinama (CNC). Tipovi radnih stanica u FMS su standardni a to su često: ćelije/stanice za utovar/istovar, ćelije za mašinsku obradu, druge ćelije za preradu ili obradu, ćelije za montažu, druge stanice i oprema za rad.

Pod FMS obradnim ćelijama podrazumeva se CNC ili samostalna NC mašina, najčešće obradni centar, glodalica ili druga alatna mašina, koja je uz dodatne automatske uređaje snabdevena za jedan vremenski ograničeni rad bez spoljnjeg opsluživanja, slike 12.6 i 12.8. Zato su neophodni sledeći dodatne mogućnosti:

- Dovoljna količina pripremljenih obradaka u formi palete ili pojedinačnog magacina za rad u jednoj smeni.
- Automatsko opsluživanje mašine iz magacina obradaka i povratak obrađenih delova u magacin gotovih delova.
- Prošireni držač alata da bi se mogli obraditi magacina obradaka i povratak obrađenih delova u magacin gotovih delova.
- Automatska izmena alata sa nadzornim uređajem za kontrolu loma ili trošenja i automatskim pozivanjem rezervnih alata.
- Kontrola mera obrađivanih delova, npr. putem mernog tastera i odgovarajući softver za obradu podataka, da bi se automatski dobile korekturne vrednosti ili automatski isključilo prekoračenje tolerancijskih granica.
- Automatsko zaustavljanje mašine nakon završetka obrade svih delova u magacinu ili pojave greške.

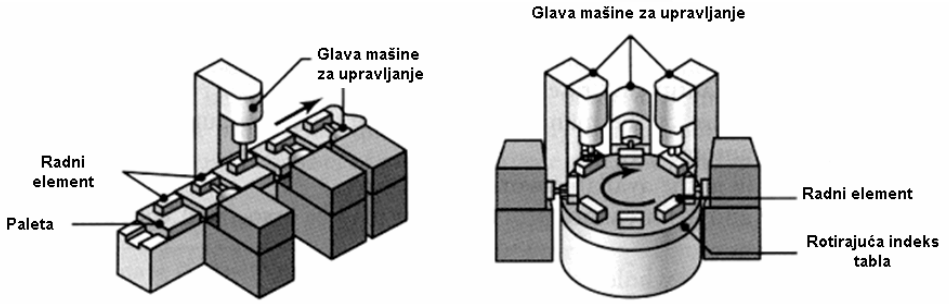
Grupa od četiri i više mašina čine sistem, a tri ili manje mašina sačinjavaju ćeliju. **Fleksibilna proizvodna ćelija** predstavlja grupu od nekoliko mašina koja se opslužuju robotom i koja je sposobna za obradu familije delova. Primena numerički upravljanih alatnih mašina omogućava vrlo jednostavno prilagođavanje neophodnim konstrukcionim i proizvodnim izmenama. Fleksibilni proizvodni sistem nije ograničen minimalnom veličinom serije, već, uz pretpostavku postojanja programa za obradu dela, obrađuje i pojedinačne delove u proizvoljnom redosledu.

Koncept fleksibilnog proizvodnog ostrva ovde će se samo pomenuti, da bi se korigovale prethodne definicije. Radi se pri tome o specijalnoj organizacionoj formi jednog fleksibilno primenljivog pogona, koji sa ovde opisanim fleksibilnim proizvodnim sistemom nema ništa zajedničko.

Danas se pod fleksibilnim proizvodnim ostrvom podrazumeva ograničeno područje pogona sa više konvencionalnih i NC mašina i drugih uređaja, na kome se na jednom ograničenom izboru obradaka mogu izvesti sve neophodne operacije. Pri tome je bitna prostorna i organizaciona zavisnost mašina i pogonskih sredstava u cilju kompletne obrade delova. Ljudi koji su tu zaposleni samostalno planiraju, odlučuju i kontrolišu provođenje radova. Pri tome se gubi kruto postavljanje radova i postiže prošireni dispozicioni i radni prostor za pojedince.

Fleksibilna proizvodna ostrva imaju prednost tamo gde proizvodni proces zahteva fleksibilne i univerzalno primenjive radnike. Radnici u fleksibilnom proizvodnom ostrvu organizuju pojedine radne tokove sami i većinom bez nadređenih rukovodilaca. Svi pripadni poslovi raspodeljuju se u grupe, disponiraju i dodeljuju. Važno je u većini slučajeva, da se zadati termin održi i postigne kvalitet.

Fleksibilni proizvodni sistemi su primenljivi kako za obradu prizmatičnih obradaka, tako i cilindričnih obradaka i limova. Ovo zahteva pored različitih alatnih mašina, takođe i različite transportne sisteme.



Slika 12.4. *Obrada radnih delova u mašinskom centru*

Prizmatični obradci se pojedinačno ili grupno pričvršćuju na palete sa steznim priborom ili transportuju, a kod rotacionih delova radni komadi se nose u malim serijama ili skladište u zajednički držač (magacin) radnih delova. Umesto izmenjivača paleta na alatnoj mašini se javlja, kod cilindričnih delova, najčešće manipulacioni automat (sa duplom hvataljkom), koji izuzima pojedinačno, jedan za drugim, delove iz držača, prinosi steznoj glavi, zamenjuje obrađeni sa neobrađenim obratkom i konačno odlaže deo u držaču gotovih delova.



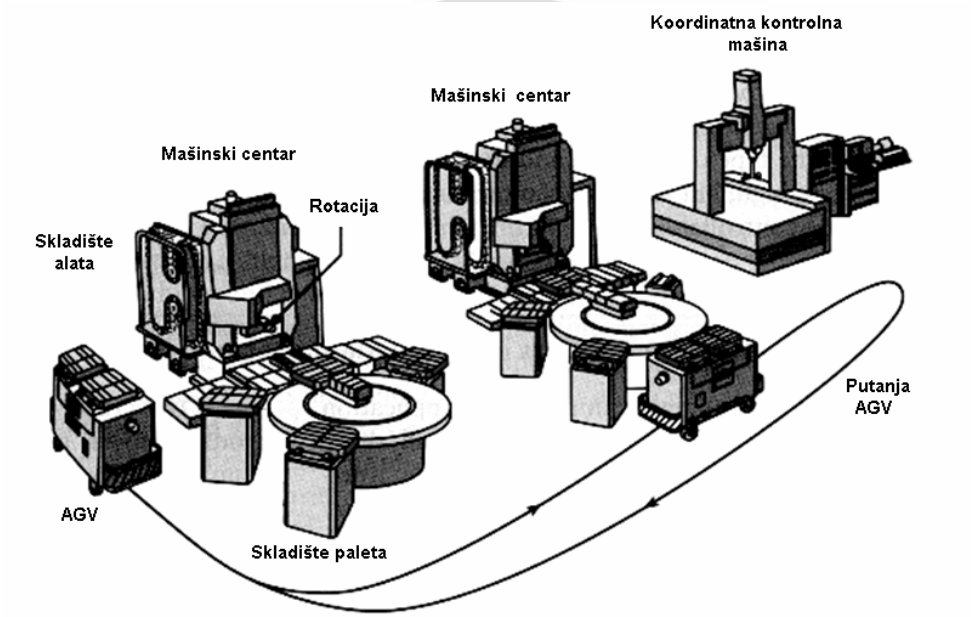
Slika 12.5. *Fleksibilni proizvodni sistem*

Fleksibilni proizvodni sistemi, slika 12.5, mogu biti:

- **Namenski FMS** za proizvodnju ograničenog broja konfiguracije delova.
- **Za slučajnu porudžbinu** kod koje je velika familija, varijacija i konfiguracija delova.

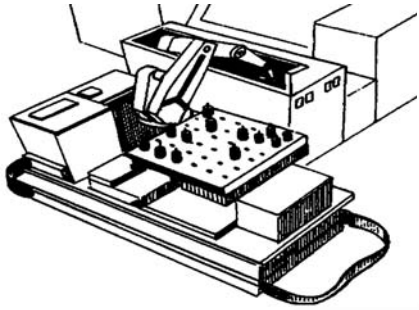
U sistemima projektovanja za mašinske operacije, glavni tipovi obradnih ćelija su CNC mašine alatljike. Mašina koje se koriste u ćelijama FMS su:

- **Mašinski centri** su visoko automatizovane samostalne mašine koje mogu da se koriste kao komponente FMS, slika 12.6. Alatne mašine sposobne za izvršenje nekoliko mašinskih operacija na radnom delu u jednoj pripremi pod programskim upravljanjem (glodanje, bušenje, razvrtanje, upuštanje i dr). Poseduje DNC ili CNC upravljanje, automatsku izmenu alata i upotrebu paletizovanih radnih delova.



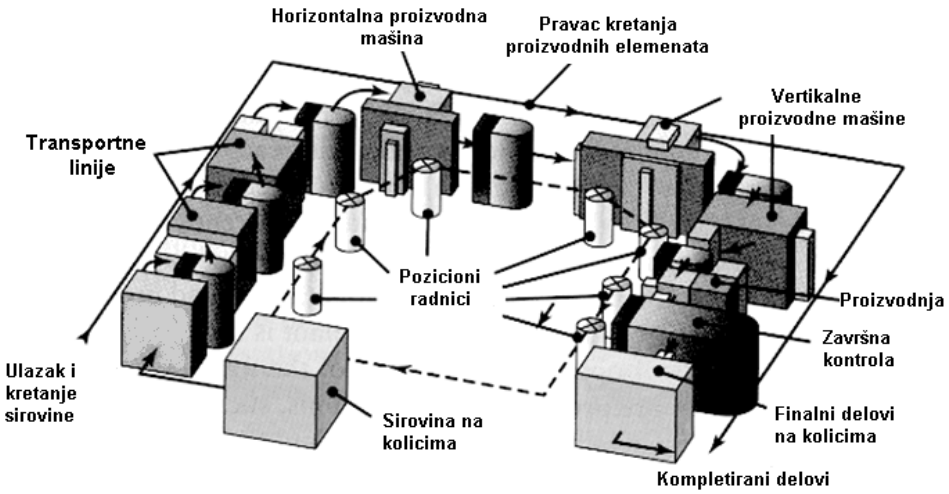
Slika 12.6. *Fleksibilna proizvodna ćelija*

- **Indeksir glava** je sličan menjaču glava osim što su alatne glave veće, isuviše velike da bi se mogle kretati između vretenskog pogona i skladišne lokacije alata. Glave su polu trajno pričvršćene na indeksirani mehanizam na alatnoj mašini.
- **Moduli glodanja**.
- **Moduli struganja**.
- **Menjač glava** je specijalna alatna mašina koja ima sposobnost da menja alatne glave. Alatne glave su najčešće viševreteni alatni moduli koji mogu da se skladište na polici ili dobošu lociranom na mašini ili blizu mašine. One se upotrebljavaju za izvršavanje istovremenog višestrukog bušenja i srodnih operacija na radnom delu.



Slika 12.7. *Zamena alata u magacinu obradnog centra uz pomoć mobilnog robota*

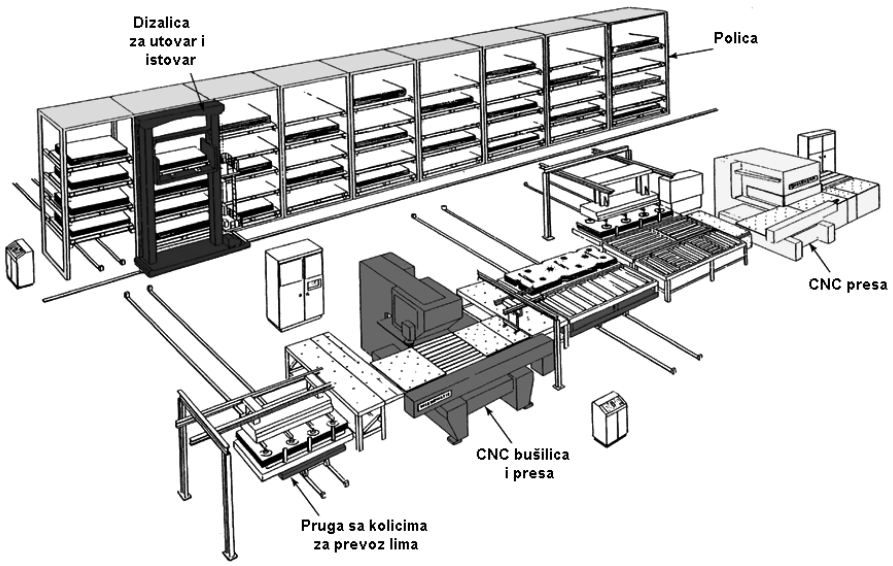
- **Montažne ćelije** koje mogu da se programiraju za izvršavanje zadataka sa varijacijama u redosledu i obrascu pokreta da bi se prilagodili različitim stilovima proizvoda koji se izrađuju. Industrijski roboti su najpodesniji za montažne ćelije.



Slika 12.8. *Fleksibilna proizvodna ćelija*

- **Inspekcijske ćelije** su posebno važne u FMS. Koordinatne merne mašine poseduju specijalne inspekcijske sonde koje mogu da se upotrebe na vretenu alatne mašine. Ćelija za inspekciju uglavnom se zasniva na CNC koordinatnoj mašini.
- **Ćelije za pranje delova** omogućuju čišćenje i pranje preostalih opiljaka posle obradnih ćelija. Zaostao opiljak može prouzrokovati neočekivane probleme u toku automatske kontrole.
- **Ćelije za kovanje** sadrže peć za grejanje, presu za kovanje i mesto za doradu.
- **Ćelije za livenje** omogućuju livenje metala i plastike pod pritiskom.

- **Ćelije za montiranje paleta** omogućuju rešavanje kompleksnih zadataka. Automatizovano se može rešiti učvršćivanje ali zbog težine, držanja delova i kompleksnih pokreta montiranje paleta se vrši ručno. Izmenu delova preuzima portalni robot. On uzima sirove komade sa palete i odlaže gotove komade u drugu paletu. Paletizacija i depaletizacija obradaka i delova za rad u trećoj smeni izvodi se u u pravilu u prvoj i drugoj smeni. Neophodni **kapacitet magacina obradaka** je u prvom redu zavisan od vremena obrade obradaka. Kod srednjeg vremena obrade od 30 minuta dovoljno je 16 paleta za 8 sati proizvodnje.
- **Ćelije za obradu limova** omogućuju realizaciju operacija presovanja, krojenja, savijanja i oblikovanja. Na slici 12.9. prikazan je FMS za izradu lima.



Slika 12.9. *Prikaz strukture fleksibilne proizvodne ćelije za obradu lima*

Stezanje i skidanje delova u priborima se izvodi pretežno ručno. Manji delovi se mogu stezati u višestruke stezne pribore, da bi se skratilo ukupno vreme obrade. Ukoliko je to donosi prednost, može se prvo i drugo stezanje delova kombinovati u jednom priboru.

Za prepoznavanje i identifikaciju obradaka stegnutih na paleti služi uređaj za kodiranje smešten na paleti ili priboru za stezanje. Podaci se elektronski učitavaju pre početka obrade i upoređuju sa pripremljenim NC programom na mašini. Početak obrade zavisi od prethodnih podataka. Pod određenim uslovima mode se ovaj uređaj izostaviti. Upravljačka jedinica za transport tada mora preuzeti upravljanje transportom i kontrolu identiteta na mašinama.

Osnovne prednosti FMS su:

- **Povećana iskorišćenost mašina**: dvadeset i četiri sata operacija, automatska promena alata, automatsko menjanje palete na stanicama, redovi delova na stanicama kako bi se povećala iskorišćenost, dinamičko planiranje proizvodnje na račun

za promene u potražnji, manje mašine potrebne, smanjenje podnog skladišnog prostora.

- **Veće mogućnosti za promene**: smanjenje zaliha, različiti delovi proizvedeni u kontinuitetu, a ne u grupama, smanjen broj zaposlenih, veća produktivnost, kontinuirani nadzor proizvodnje mašine (rad preko noći – "svetla operacija").

12.4. Sistemi unutrašnjeg transporta i skladištenja

Bitna komponenta FMS je sistem unutrašnjeg transporta i skladištenja. Sistem unutrašnjeg transporta i skladištenja u fleksibilnom proizvodnom sistemu treba da izvršava sledeće funkcije:

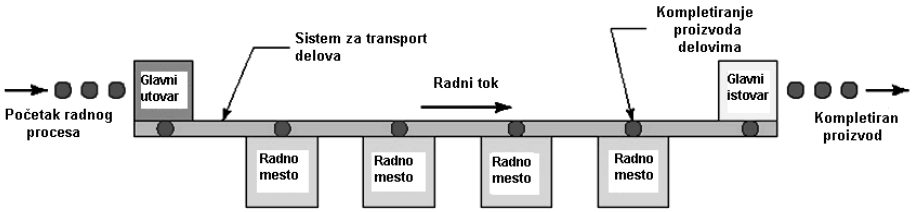
- omogućava slučajna nezavisna kretanja radnih delova između ćelija,
- manipulisanje raznovrsnim konfiguracijama radnih delova,
- omogućava privremeno skladištenje,
- pogodan pristup za utovar i istovar radnih delova,
- kompatibilnost sa računarskim upravljanjem.

Raspored konfiguracija FMS se može klasifikovati u sledeće kategorije:

- Raspored u obliku linije-trake;
- Raspored FMS u obliku linije sa povratnim tokom i među rukovanjem;
- Raspored FMS u obliku petlje sa primarnim i sekundarnim manipulativnim sistemom;
- Raspored FMS u obliku pravougaonika;
- Raspored FMS u obliku merdevina;
- Raspored FMS u obliku otvorene petlje; i
- Ćelija sa robotikom-industrijski roboti.

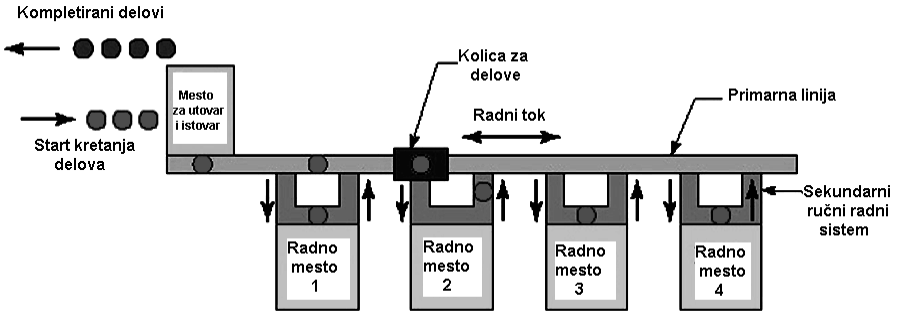
Projektovanje fleksibilnih proizvodnih sistema počinje najčešće sa principijelnim utvrđivanjem najpodesnijeg transportnog sistema za obratke. Kada se utvrdi broj i tip mašina koje će se instalirati u FMS, sledi tada fino planiranje rasporeda mašina i njihovo povezivanje na transportni sistem. Raspoloživa površina je često unapred zadata, često mala, tako da ne postoji dovoljno velik prostor. Stoga se pokrećemo ka transportnom sistemu za obratke. Tipovi konfiguracije rasporeda koji se najčešće nalaze u današnjim FMS mogu biti: linija, petlja, pravougaona, merdevina, otvorena petlja, robotska ćelija.

Linija je najpodesnija za FMS, u kojem delovi napreduju od jedne ćelije do druge, po unapred definisanom proizvodnom rasporedu bez povratnog toka. Delovi teku u jednom smeru, slika 12.10. Pravolinijski tok sa dobro definisanim redosledom obrade je sličan za sve radne jedinice. Rad protok je sa leva na desno kroz iste radne stanice, bez među rukovanja u sistemu.



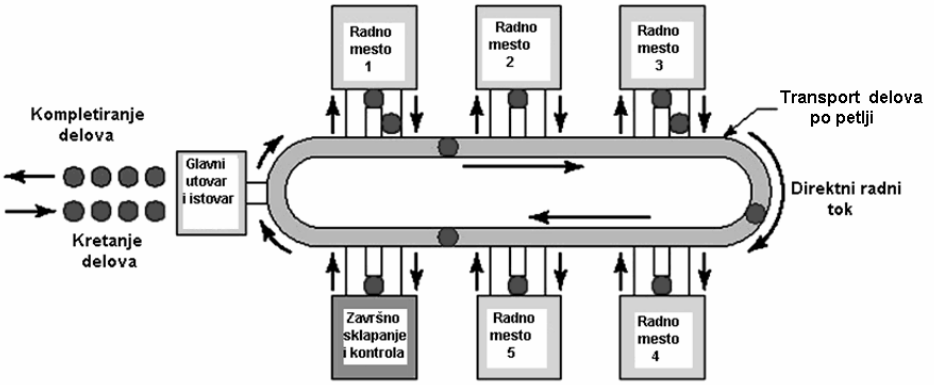
Slika 12.10. *Raspored FMS u obliku linije*

Na slici 12.11. prikazan je linijski raspored mašina sa povratnim tokom materijala sa sekundarnim rukovanjem u dva smera na svakoj radnoj stanici (radnom mestu).



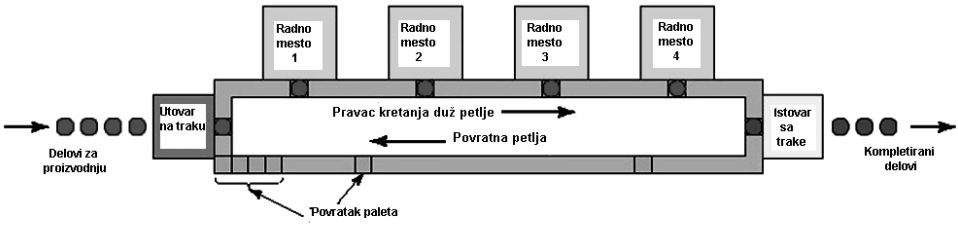
Slika 12.11. *Raspored FMS u obliku linije sa povratnim tokom i među rukovanjem*

Osnovna konfiguracija je petlja, slika 12.12. Radni delovi obično teku u jednom smeru po kružnoj petlji sa mogućnošću za zaustavljanje na svakom radnom mestu. Mesta utovara i istovara najčešće se lociraju na jednom kraju petlje. Sekundarni manipulativni sistem pojavljuje se u svakoj ćeliji da bi se omogućilo kretanje delova bez smetnji po petlji.



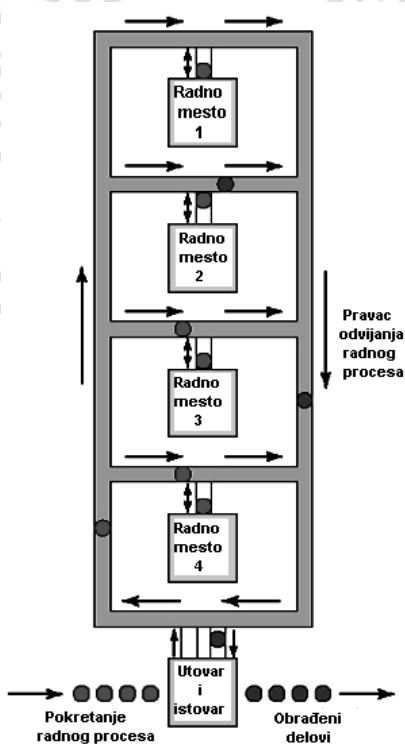
Slika 12.12. *Raspored FMS u obliku petlje sa primarnim i sekundarnim manipulativnim sistemom*

Pravougaoni raspored omogućava recirkulaciju paleta. Posle istovara gotovih proizvoda palete se vraćaju nazad na stanicu za utovar, slika 12.13.



Slika 12.13. *Raspored FMS u obliku pravougaonika*

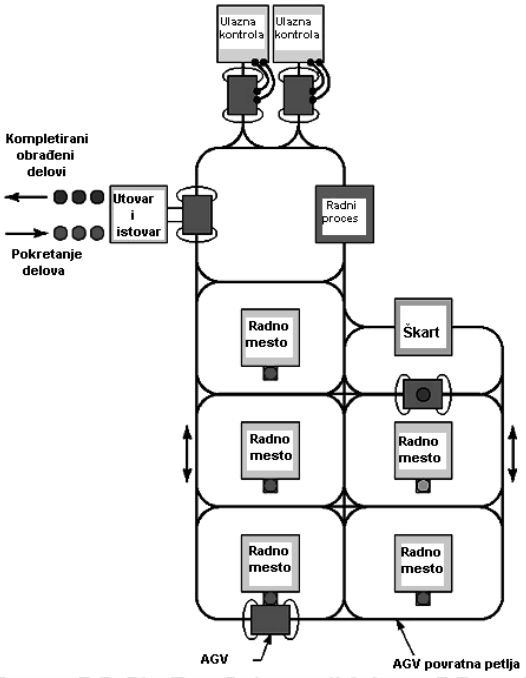
Konfiguracija merdevina je jedna adaptacija petlje koja sadrži poprečne putanje na kojim su locirane ćelije, slika 12.14. Poprečne putanje povećavaju moguće puteve koji se dobijaju od jedne do druge mašine. Prednost rešenja je u redukciji putnog rastojanja i vremena transporta između ćelija.



Slika 12.14. *Raspored FMS u obliku merdevina*

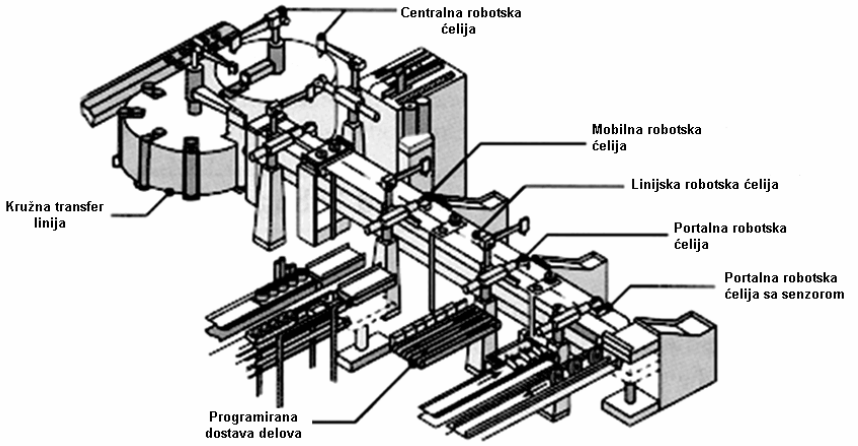
Konfiguracija otvorene petlje je jedna adaptacija konfiguracije petlje. Sastavljena je od petlje, merdevine i sporednih koloseka koji se organizuju da bi se ostvarili željene zahtevi

obrade, slika 12.15. Ovaj raspored je podesan za obradu velike familije delova.



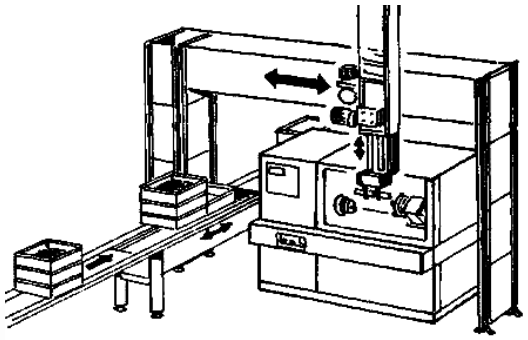
Slika 12.15. *Raspored FMS u obliku otvorene petlje*

Robotska ćelija je novi oblik fleksibilnog sistema u kojoj se upotrebljavaju jedan ili više robota za manipulisanje, obradu, montažu i kontrolu. Postoje četiri osnovna rasporeda robotske ćelije: centralna robotska ćelija, linijska robotska ćelija, mobilna robotska ćelija i portalna robotska ćelija, slika 12.16.



Slika 12.16. *Primena robota u proizvodnom sistemu*

U centralnoj robotskoj ćeliji robot se locira u približan centar ćelije a mašine i oprema se raspoređuju oko njega. Linijska robotska linija se raspoređuje duž konvejnerske linije ili drugog vida transporta materijala. Mobilna robotska ćelija se montira na mobilnu osnovu, pokretna je radi opsluživanja više mašina. Šinski sistem može biti podni i viseći. Portalna robotska ćelija je adaptacija visećeg šinskog sistema za mobilnu robotsku ćeliju. Na slici 12.17. je prikazan portalni robot koji opslužuje mašinu sa linijskog transporta.

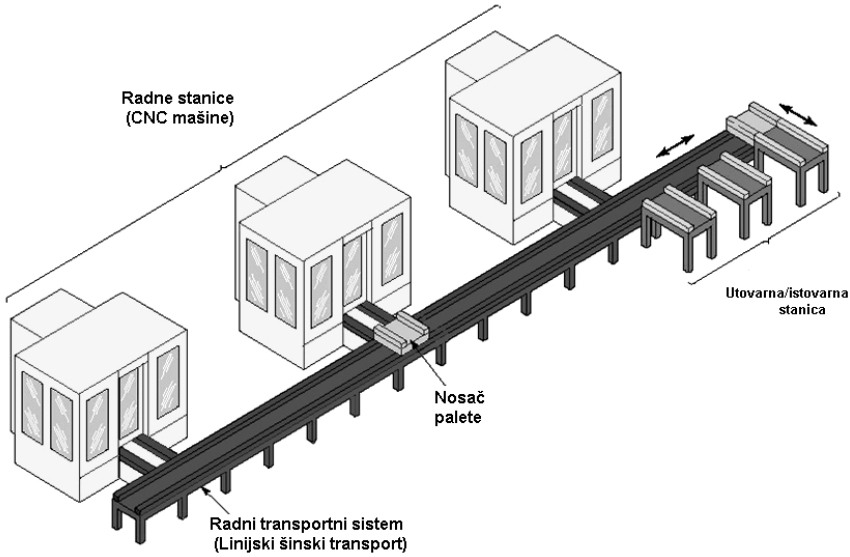


Slika 12.17. *Portalni robot opslužuje mašinu*

12.4.1. Izbor transportnog sistema

Na raspolaganju postoji više različitih transportnih sistema. Na raspolaganju su:

- Linijski, šinski vođeni sistemi sa jednim ili dva transportna vozila, slika 12.18;



Slika 12.18. *Fleksibilna proizvodna ćelija koja se sastoji od tri identične stanice za obradu, stanice za utovar/istovar i sistema za transportovanje delova*

- Valjkasti transporter ili sistem sa duplom trakom sa više paleta u toku;
- Automatski vođena transportna vozila (AGV).

Pravi izbor je zavisan od težine i dimenzija obratka, kao i zahteva mašine. Najčešći se koriste pravolinijski, šinski vođeni transportni sistemi.

Transportni sistemi zahtevaju puno prostora, imaju veliku brzinu vožnje, a kolica se mogu po izboru snabdeti sa više paletnih mesta. Uz to postoji mogućnost da se mašine rasporede samo sa jedne ili sa obadve strane vozne staze. Za kasnije proširenje sistema vozna staza se može bez problema produžiti. Upravljačka logistika je jednostavna i efikasna.

Kružni paletni sistemi, poznati sa automatskih montažnih sistema, uz primenu duplih gumenih transportnih traka, su u osnovi podesni, ali samo za manje i laganije obradke. Transportne palete ovde nose obratke koji su stegnuti na steznim priborima, i predaju ih mašinama. Palete stoga čekaju izvan mašina i preuzimaju obratke za daljnji transport. Kod obrade na više mašina obradci se moraju ponovo vraćati na svoje prvobitne palete, ukoliko se specifično kodiranje obradaka sa ciljnom stanicom nalaze na paleti. Kod velikih paleta su neophodne složene pretovarne stanice na mašinama.

Valjkasti transporter omogućuju da se paleta kreće po gonjenim valjcima zahvaljujući trenju, se javljaju na tržištu kao serijski proizvodi, slika 12.19. Ukupna dužina se može sklopiti iz više elementarnih deonica. Širina i visina transportera se može prilagoditi. Opterećenje dostiže do $750\,\mathrm{kg/m}$, brzina transportovanja je od 1 do $12\,\mathrm{m/s}$. Pogon je elektromotorni sa reduktorom.



Slika 12.19. *Valjkasti i klizni transporteri*

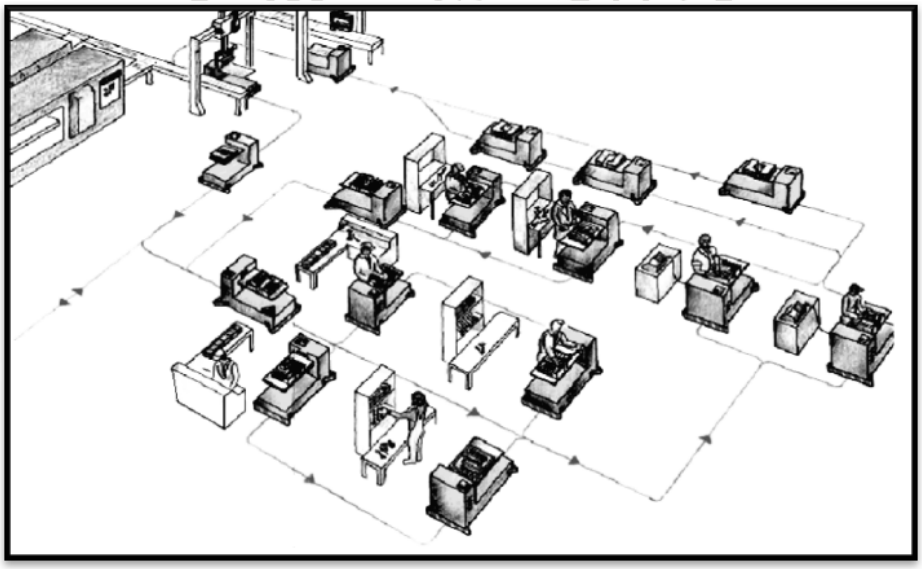
Automatski vođena transportna vozila su namenjena za:

- automatsko rukovanje materijalima u nezavisnim operacijama,
- automatski kretanje materijala duž definisanog puta, slika 12.20.

Automatski vođeni sistem mogu imati baterije sa autonomijom od 8 do 16 časova rada. Atraktivni AGV su transporteri koje su neupadljive u toku transporta. Vrlo su pogodni za mešane oblike proizvodnje. Prednosti sistema sa automatski vođenim vozilima su:

- fleksibilnost u promeni transportne putanje kao i u pogledu prilagođavanja zahtevima,

- relativno jednostavna ugradnja, posebno kod rešenja baziranih na rešenjima upravljanja bez zahteva za ugradnjom fiksne opreme (radio upravljanje, lasersko navođenje i dr.),
- jednostavno povećanje transportnog kapaciteta uvođenjem novih vozila, odnosno mogućnost optimalnog prilagođavanja stvarnim potrebama,
- smanjivanje oštećenja robe,
- znatno humaniji uslovi rada, naročito na montažnim linijama i u uslovima rada sa prisustvom raznih opasnosti,
- obezbeđenje automatskog upravljanja u svim procesima sistema kao i mogućnost direktnog povezivanja sa kompleksnim informacionim sistemima,
- podizanje organizacije na znatno viši nivo,
- radikalno smanjenje broja zaposlenih,
- neosetljivost sistema na dužinu radnog vremena i broj smena.



Slika 12.20. *Automatski kretanje materijala duž definisanog puta*

Automatski vođena vozila se mogu klasifikovati u sledeće grupe: traktori, paletna kolica, transportna vozila i specijalna vozila.

Transportni sistem predstavlja kako tehnički, tako i određeni troškovni element celokupnog sistema Zato je vrlo važno da se planiranju funkcionalnih tokova posveti odgovarajuća pažnja, da bi se izbegle nepotrebne naknadne popravke, troškovi i transportni putevi. Transportni sistemi moraju ispunjavati visoke zahteve, na primer:

- Velika brzina kretanja, koja iznosi do $120\,\mathrm{m/min}$.
- Kontrolisano slaganje i izmena paleta.
- Mogućnost manuelnih zahvata kod smetnji (npr. ručni pogon).
- Moćan, pouzdan i siguran transport paleta do pojedinačnih stanica,
- Održanje sigurnosnih zahteva, npr. kod kolizije, neočekivanih prepreka, naponskih ispada, upravljačkih grešaka.
- Ispunjavanje transportnih zadataka sa najmanjim troškovima za hardver, softver, montažu, održavanje, upravljanje i funkcionalnu sigurnost.
- Trajno osiguravanje tačnosti obrade delova, tj. vođenje i indeksiranje paleta ne sme dovesti do habanja u transportu i izmenjivačkim uređajima.
- Na mašinama se ne sme pojaviti zastoji zbog nedostatka paleta, što se mode utvrditi pre nastanka zastoja pomoću simulacionog sistema.
- Utovarna i stezna mesta moraju biti tako opremljena da izmena steznih pribora i obradaka teče brzo i bez problema.
- Transportni sistem mora biti lako proširiv za integraciju dodatnih mašina.
- Održavanje i popravke se moraju izvoditi bez dugih zastoja.
- Po mogućnosti bi isti transportni sistem trebalo koristiti za transport izmenjivih alata ka i od mašina, da bi se uštedelo na dodatnom transportnom sistemu za alate.

12.5. Računarski upravljački sistem

U FMS je uključena distribucija kompjuterskih sistema koji su povezani sa radnim stanicama, materijalima sistema za manipulaciju i drugim hardverskim komponentama. U tipičnim FMS kompjuterski sistem se sastoji od glavnog – centralnog računara i mikroprocesora koji vrše kontrolu pojedinih mašina i uređaja i drugih komponenata.

Uloga centralnog kompjutera je da koordinira delatnost komponenata da bi postigli krajnje operacije u sistemu. Funkcije koje se ispunjavaju u FMS centralni kompjuterski sistem grupiše u sledeće kategorije: kontrolne radne stanice, raspored kontrole i instrukcija prema radnim mestima, kontrola u proizvodnji, kontrola prevoženja, kontrola transporta, nadziranje radnih delova, kontrola lokacije alata i alata za praćenje rada, performanse nadziranja operacija i izveštavanja i verodostojna dijagnostika problema kada se desi kvar.

U osnovi FMS sa odgovarajućom konstrukcijom može raditi i bez nadređenog vodećeg računara. Ovo se odnosi u osnovi na automatski tok obrade, tj. dovoz paleta, obradu i ponovno skidanje. To zadovoljava automatski transport obradaka. Svi drugi organizacioni radovi u okruženju FPS se moraju ručno terminirati, kontrolisati i pravovremeno izvesti, da se ne bi pojavili zastoji zbog nedostatka obradaka, alata, steznih pribora ili poremećajnih faktora. Na taj način je već definisano koji zadaci se prenose nadređenom vodećem

FMS. Ovi zadaci za računar su zavisni od konstrukcije i stepena automatizacije sistema i mogu sadržati sledeće funkcije:

- Preuzimanje proizvodnih naloga sa brojevima komada i terminima od FMS i terminska kontrola na osnovu povratnih dojava.
- Raspodela mašina kod normalnog pogona uzimajući u obzir aktualno stanje alata na mašini, tj. na kojoj mašini se mora u slučaju promene posla zameniti najmanje alata.
- Raspodela mašina kod hitnih naloga, bez kompletnog prekidanja tekućih naloga iz proizvodnje.
- Priprema paleta za stezanje sa drugim steznim priborima (broj, termini).
- Priprema sirovih komada (PPS je već utvrdio, da postoji dovoljno sirovih komada).
- Raspoređivanje neophodnih alata (posebnih, specijalnih ili serijskih alata) uključujući podatke o alatima i njihovu dostavu na mašine.
- Izdavanje diferencne liste alata na pogonu, da bi se za svaku mašinu predvideo alat za zamenu.
- Informacije za DNC računar da pripremi odgovarajuće NC programe.
- Informacije upravljanju transportnog sistema o rasporedu obradaka na pojedinim mašinama, ident kodovima itd.
- Priprema mernih programa za merne mašine integrisane u sistemu ili za internu kontrolu na mašini.
- Informacije pogonskom personalu o promeni proizvodnje i za to neophodnim pripremama, statusne dojave, alternativne strategije pri ispadu mašina, termini, brojevi komada itd.

Tako može započeti proizvodnja novih komada. Ukoliko neka mašina ispadne iz rada, tada vodeći računar upućuje obradke, po pripremljenoj strategiji za slučaj ispada, drugoj mašini, sve dok je to dozvoljeno od strane FPS i tehnički izvodivo. Odluku o tome donosi personal. Jedan od sledećih zadataka je centralna kontrola postrojenja i njegovog stanja. Zato su potrebne sledeće povratne informacije:

- Mašina pogonski spremna/radi/u kvaru.
- Mašina na popravci/rok/razlog.
- Palete nedostaju/u transportu/u obradi.
- Proizvedeni delovi/sklopovi.
- Škartirani komadi/razlog.

- Transportni sistem pogonski spreman/ukočen.

Moćni CNC-ovi su pretpostavka za neometan rad FMS. Iako su prvi FMS bili instalirani pre nego su se pojavile prve CNC, mogućnosti i obim funkcija ovih ranih sistema je za današnje zahteve neuporediv. Da bi se ispunili zahtevi automatskog i vremenski neprekidnog pogona CNC-i pogodni za FMS moraju raspolagati sa više specijalnih funkcija:

- Velika memorija, da bi odeđeno vreme mogli biti nezavisni od DNC računara. Mnogo memorije je neophodno i za korekture alata, korekture nulte tačke, korekture diferencije stezanja i upravljanje podacima alata.

- Moćno upravljanje memorisanim podacima, da bi se ukupni sklop informacija mogao aktualizirati u svakom trenutku, prikazati, ispitati i korigovati. I to kako na CNC-u, tako i na centralnom procesnom računaru.

- Ukoliko su NC programi veći od kapaciteta CNC memorije, tj. programi sa produžetkom, tada se programska memorija NC-a mora automatski dopunjavati preko DNC-a, bez prekida tekuće obrade.

- Ukoliko je više NC programa memorisano u CNC-u, tada svaki program mora biti izvediv preko jedne eksterno definisane naredbe i sposoban za start kod pogonske spremnosti.

- Pogon bez zastoja zahteva CNC interno upravljanje alatima za rezervne alate, sa kontrolom veka trajanja i automatskim rasporedom odgovarajućih korekturnih vrednosti.

- Zavisno od programa svakom alatu mora biti dodeljeno više korekturnih vrednosti, da bi se moglo iskoristiti zadato tolerancijsko područje, kod pojedinih obrada.

- Obrađeni komadi se moraju kontrolisati pomoću mernih tastera i specijalnih, u CNC memorisanih, mernih programa. Zavisno od rezultata merenja, merni protokol mora dati signal DOBAR ili LOŠ.

- Bezuslovna pretpostavka za priključak na DNC sistem je moćan interfejs za izmenu podataka (npr. Ethernet) za bidirekcionalni saobraćaj između DNC-računara i CNC.

- Neophodano je upravljanje paletama ili obradcima u upravljanju transportom, da bi se mogli zadati prioriteti obrade (redosled pozivanja paleta); statusni prikaz mora informisati brzo o ukupnom stanju svih obradaka (obrađen/neobrađen/ obrada prekinuta).

- CNC interni, automatski registrator podataka o mašini i obradi (MDE/BDE) registruje za vreme jedne smene sve smetnje koje se pojave, ukazuje na prekinute obrade i informiše o statističkim stepenu iskorišćenja mašine.

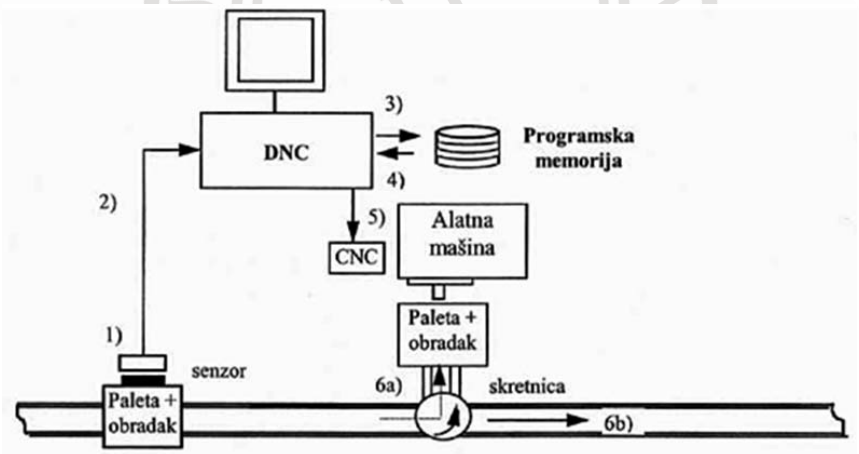
- Za vreme noćnog rada sa redukovanom snagom rezanja moraju se aktivirati odgovarajuće redukovane brzine.

Kod ispada jedne komponente FPS mora postojati i/ili strategija (prelazna), da bi se održali u nužnom pogonu delovi postrojenja koji nisu sinhronizovani (ne rade u taktu sistema). Za automatsko odvijanje procesa proizvodnje neophodno je da svaka mašina FPS-a bude stalno snabdevena sa obradcima preko **upravljanja transportom obradaka**. Za kretanje paleta, pri tome, npr. postoje dve mogućnosti.

12.5.1. Pozivanje programa putem obratka

Kod ovog načina, paleta traži slobodnu, spremnu i odgovarajuću mašinu, što se izvodi poređenjem koda palete sa brojem mašine. Od trenutka ulaska palete na steznu stanicu mašine do fiksiranja palete (nekoliko sekundi), program mora biti mašini na raspolaganju, da bi se izbegao zastoj (čekanje).

Zato je ovde neophodan DNC sistem, pri čemu procesni računar preuzima zadatke "prepoznavanje – traženje – priprema – prenos" programa. Nedostatak ovog principa je da nije moguće unapred definisati raspored jednog obradka na jednu obrađenu mašinu. Neophodne specijalne korekture pomeranja, broja obrtaja i druge funkcije ne mogu se stoga izvršavati na NC-mašini, nego se moraju memorisati centralno, da bi svaku mašinu, koja dolazi u obzir, preko upravljačkog programa učinili efikasnom. Procesni računar dalje mora da raspoređuje obradne programe stalno drugoj mašini, pošto je izbor mašine po ovom principu prepušten slučaju.



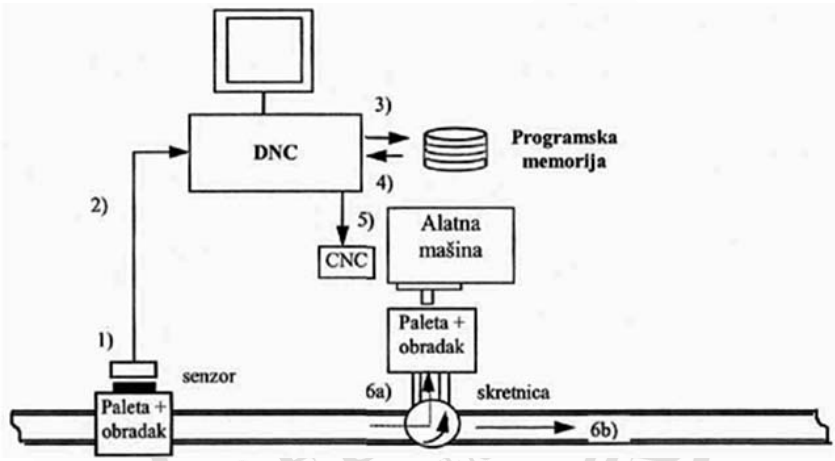
Slika 12.21. *Pozivanje obratka putem programa memorisanog u NC-u na osnovu redosleda: 1) program na CNC; 2) testiranje brojeva palete; 6a) kod palete odgovara broju programa – paleta na mašinu; 6b) kod palete ne odgovara broju programa paleta ide dalje u opticaj*

12.5.2. Pozivanje obratka putem programa

Ovaj princip se pojavljuje kao jednostavnije tehničko rješenje upravljanja. Ovde se program obrade za obradak prenosi kompletno u memoriju CNC-a alatne mašine. Upravljanje

tada čita kodne brojeve svih paleta koje prolaze pored mašine, poredi ih sa memorisanim brojem u programu, a u slučaju podudaranja, upravljanje usmerava paletu ka mašini putem odgovarajućeg položaja skretnice. Pre nego otpočne obrada palete na mašini, izvodi se automatsko brisanje adrese, da bi se onemogućio ponovljeni nailazak palete na istu obradnu stanicu.

Ovaj princip upravljanja nije opterećen nedostacima i radi sa znatno manje komunikacije između računara i upravljanja. Korektne vrednosti koje se odnose na mašinu, alat ili obradak mogu se direktno uneti na NC-mašine, što je od praktične prednosti.



Slika 12.22. *Pozivanje programa pomoću obradka na osnovu sledećeg redosleda: 1) prepoznavanje broja palete; 2) dojava DNC računaru; 3) traženje programa; 4) prepoznavanje programa; 5) prenos programa u CNC; 6a) postavljanje palete na mašinu ili 6b) masina zauzeta ili nepodesna za obradu, paleta ostaje dalje u obilasku.*

12.6. Tehničke karakteristike fleksibilnih proizvodnih sistema

Fleksibilni proizvodni sistemi su visoko automatizovani mašinski elementi koje sačinjavaju grupe i procesi radnih mesta (uglavnom su to mašine sa kompjutersko-numeričkim upravljanjem) spojeni sa automatskim manipulisanjem materijala i skladišnog prostora, a kontrolisani od strane deljenih kompjuterskih sistema. Razlog zbog čega su FMS flesibilni tj. elastični je upravo u njihovoj sposobnosti za obradu različitih oblika, delova i načina istovremeno na različitim radnim mestima, kao i njihova kombinacija sa drugim stilovima i količina proizvodnje koji bi regulisali i odgovorili zahtevu modela koji se traži.

Nijedan proizvodni sistem ne može kompletno biti elastičan tj. fleksibilan iz razloga što postoje ograničenja u smislu delova ili proizvoda koji se mogu proizvoditi u FMS. Prema tome, FMS su projektovani za proizvodnju delova ili proizvoda sa unapred definisanim načinom, veličinom i procesom. Prikladniji termin FMS bi bio definisan kao fleksibilno

automatizovan proizvodni sistem. Koristeći reč automatizovan misli se na raspoznavanje takvih tipova proizvodne tehnologije u odnosu na klasične proizvodne sisteme koji su fleksibilni ali nisu automatizovani, kao što su grupne tehnologije (GT) mašinskih elemenata. Reč fleksibilnost se odlikuje kroz drugačije proizvodne sisteme koji poseduju visoku automatizaciju ali ne i fleksibilnost, kao što su to uobičajene proizvodne trake za prenos. Često se inicijali fleksibilnih proizvodnih sistema koriste da bi se definisali termini poput fleksibilnih mašinskih sistema. Isti su ubrzo dobili veliku primenu u području FMS. Fleksibilni proizvodni sistemi proizilaze iz principa grupne tehnologije.

Do sada su definisane tri sposobnosti FMS da bi oni bili takvi kakvi jesu, fleksibilni i to:

- sposobnost da se izvrši identifikacija i raspoznavanje različitih dodatnih delova i proizvoda koji se pojavljuju u proizvodnji,
- brzina u prebacivanju operacija i njihovih instrukacija,
- saradnja i brzina u fizičkim podešavanjima sistema.

Razvijajući koncept fleksibilnosti pri automatskim proizvodnim sistemima, razmatrali su se mašinski elementi koji se sastoje od dve kompjuterski numeričke upravljane mašine (CNC) sa mogućnošću učitavanja i istovara pomoću industrijskih robota. Velika prednost kompjuterski upravljanih mašina jeste u tome što se mogu programirati za rad na raličitim delovima u smislu konfiguracije. Sama implementacija programa, koji se detaljno ispisuje za svaku operaciju, se vrlo jednostavno ubacuje u mašinu i isto tako menja. Međutim, ako bi težili da ćelije tj. elementi rade u grupnom modu, a pri tome želeći da isti deo obrađuju na više mašina u nekoliko stotina jedinica, tada ne bi imali kvalifikovan proizvodni sistem. Da bi se to zadovoljilo, proizvodni sistem bi trebao da zadovolji nekoliko kriterijuma kroz testove fleksibilnosti. To bi se ogledalo kroz:

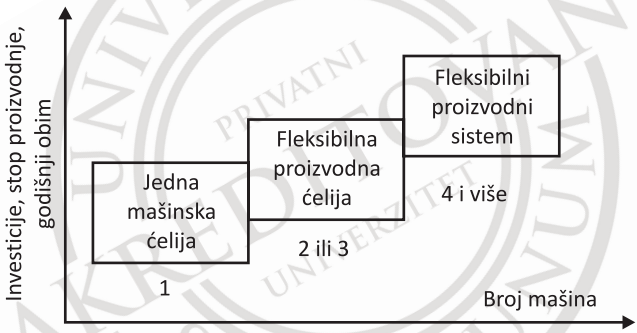
1. **Razne testove delova** – da li sistemski tok ili razvoj različitih delova može da radi u takozvanom ne-grupnom modu?
2. **Test tabelarnih promena** – da li sistem brzo i efikasno može da prihvati promene u planu toka proizvodnje, koje bi promenile delove i završni kvalitet proizvoda?
3. **Test otklanjanja grešaka** – da li sistem u potpunosti može da otkloni grešeke na opremi prilikom pada sistema, tako da se proizvodnja ne prekine u potpunosti?
4. **Test sa novim delovima** – da li se novi delovi mogu planirati i predstaviti kroz postojeće proizvode, relativno lako?

Najvažniji su prvi i drugi kriterijum, dok su kriterijumi tri i četiri isključivo softverska rešenja koja se mogu implementirati na različitim nivoima i varijantama.

Da bi se ispunili visoki zahtevi automatizacije, fleksibilni proizvodni sistemi za rezanje prizmatičnih delova moraju posedovati sledeće tehničke karakteristike:

- Više FMS-podesnih NC mašina, većinom fleksibilnih proizvodnih ćelija, čija veličina i broj odgovara spektru obrađivanih delova i broju komada;

- Dovoljna priprema obradaka da bi se za određeno definisano vreme mogao ostvariti automatski pogon bez ljudi;
- Automatski transport obradaka i sistem za izmenu, koji delove upravlja i transportuje od stezanja sirovih, pa do otpuštanja obrađenih delova.
- DNC sistem za automatsko upravljanje i pripremu NC programa i korekturne vrednosti za alate i pribore;
- Automatsko snabdevanje alatima sa upravljanjem svim podacima alata ili korekturnim vrednostima od uređaja za podešavanje do mašine i nazad;
- Automatsko odvođenje strugotine;
- Automatsko čišćenje obradaka, steznog pribora i palete na obradnoj mašini ili na odvojenoj mašini za pranje kao i sušenje; i
- Upravljački računar, merna stanica, centralni nadzor, i dijagnosticiranje grešaka instalira se po potrebi i zahtevu.



Slika 12.23. *Izgled tri kategorije fleksibilnih ćelija i sistema*

Uprkos visokim tehničkim zahtevima fleksibilni proizvodni sistemi imaju svoja ograničenja i to u odnosu na:

- Veličinu, težinu, oblik i materijal obrađivanih delova;
- Nemogućnost obrade (3, 4 i 5-ostranu, kose površine ili rupe, tehnologije);
- Produktivnost sistema (broj komada na sat);
- Vrstu i broj raspoloživih alata; i
- Tačnost obrađivanih komada.

12.7. Matematički model fleksibilnog proizvodnog sistema

Najveći deo projektovanja i problema koji se javaljaju u toku operacija se može opisati pomoću metoda kvantitativnih analiza.

12.7.1. Kvantitativna analiza fleksibilnih proizvodnih sistema (opšte postavke)

Metode istraživanja FPS se mogu klasifikovati u:

1. Deterministički model,
2. Model redova,
3. Poseban slučaj simulacije, i
4. Drugi pristupi, uključujići heuristične metode (primenjujući stečeno znanje).

Deterministički model se obično koristi u izboru započinjanja proračuna ili izbora sistemskih karakteristika. Ovaj model ne dozvoljava procenu (rešavanje) operativnih karakteristika kao što su podizanje novih redova i drugih dinamika koje mogu uticati na smanjenje sistemskih karakteristika. Prema tome, deterministički model teži ka proceni karakteristika FMS. S druge strane, ako su aktuelne sistemske karakteristike niže proračun bi trebao da obezbedi ovakav model, koji bi mogao biti znak za slabije sisteme projektovane za upravljanje sa dosta manjim zahtevima u FMS.

Model redova se bazira na matematičkoj teoriji redova. Pokazatelj performansi koje su proračunate su uglavnom prosečne vrednosti za neko ravnomerno stanje operacija u sistemu. Ovaj model dozvoljava uključivnje redova, ali samo onih u generalnom pogledu i koji su relativno jedostavni za konfiguraciju sistema. Karakteristike kao što su raspored konfiguracije, broj pokretnih traka u sistemu i pravilno vremensko planiranje proizvodnje mogu biti implementirani u simulacioni model FMS. Simulacija, koja je u čestim slučajevima odličan način da se ispitaju karakteristike pojedinih modela i njihovih rešenja, mogu biti od velikog značaja i pomoći da se definiše optimalna vrednost determinističkog modela za određene parametre.

Druge tehnike koje se koriste za analizu FMS su projektovane za operativna istraživanja uključujući matematičko programiranje i različite vrednosti heurisitičnih pristupa, tj. ranije stečenih znanja.

12.7.2. Model smetnje ili uskog grla

Očekivane karakteristike FMS se mogu matematički opisati pomoću modela smetnje ili uskog grla, koji je razvio Solberg. Mada, postoji ograničenje u determinističkom pristupu, model smetnje je jedostavan i intuitivan (neposredno saznajan, opažajan, saglasan). Može se koristiti za obezbeđenje početka proračuna u projektovanju FMS-a kao što su proizvodna stopa, broj radnih stanica i sličnih kriterijuma. Termin smetnje ili uskog grla podseća na činjenicu da izlaz (izlazna snaga, podaci) iz proizvodnih sistema ima gornju graničnu vrednost, uzimajući u obzir da se tekući proizvod meša sa celim sistemom koji je konačno određen ili nepromenljiv. Model se može primeniti na proizvodne sisteme koji poseduju karakteristiku uskog grla, na primer, ručno upravljani i korišćeni mašinski sistemi.

Terminologija i simboli. Definisanjem sledećih osobina, termina i simbola za model uskog grla koji mogu biti primenjeni u fleksibilnim proizvodnim sistemima dobijamo sledeće:

- **Mešanje delova** – Mešanje različitih delova ili stilova proizvedenih pomoću sistema je definisano pomoću p_i, gde je p_j – delić od ukupnog izlaza iz sistema koji je od načina j. Indeks j se kreće od $j = 1, 2, \ldots, p$, gde je p – ukupan broj različitih delova i stilova napravnjenih u FMS u toku vremenskog intervala koji je od interesa.

$$\sum_{j=1}^{p} p_j = 0 \tag{12.1}$$

- **Radne stanice i serveri** – Fleksibilni proizvodni sistemi su brojčano odvojeni od drugih radnih stanica n. U terminologiji modela uskog grla, svaka radna stanica mora da ima više od jednog servera, što jedostavno znači da postoji mogućnost da imamo dve ili više mašina, sposobne da izvršavaju iste operacije. Koristeći terminologiju *stanice* i *servera* u modelu uskog grla je preciziran tačan način raspoznavanja između mašina koje mogu obavljati identične i različite operacije. Broj servera na radnim stanicama bi prestavili kao s_i, gde je $i = 1, 2, \ldots, n$.

- **Proces trasiranja** – Za svaki deo ili proizvod se definiše redosled operacija i radnih stanica, gde se operacije izvršavaju i zajedničko vreme potrebno za preradu ili obradu. U redosled operacija se podrazumeva učitavanje operacije od početka proizvodnje na FMS do istovara na kraju proizvodnje. Izračunavanje vremena ćemo obeležiti sa t_{ijk}, gde se i odnosi na stanice, j predstavlja delove od proizvoda i k predstavlja redosled operacija u procesu trasiranja. Ono predstavlja ukupno vreme u proizvodnji, gde aparat proizvodnje poseduje date radne stanice i servere.

- **Sistema za manipulaciju** – Ovi sistemi se koriste za transport delova ili proizvoda u granicama FMS koji se kasnije mogu razmotriti da budu specijalan slučaj radnih stanica. Ako bismo označili stanicu sa $n + 1$, i broj nosača u sistemu bi bio analogan broju servera u regularnim radnim stanicama s_{n+1} (broj nosača u FMS za manipulaciju).

- **Vreme za transport** – Ako bismo sa t_{n+1} obeležili potrebno vreme transportovanja delova iz jedne radne stanice do naredne stanice. Ova vrednost se može obračunavati za svaki transport posebno, zasnovano na transpotrnoj frekfenciji i udaljenosti između stanica u FPS, ali je više pogodnije da se jednostavno uzme srednje (prosečno) vreme transporta za sva kretanja u FPS.

- **Učestanost operacija** – učestanost operacija se definiše kao očekivani broj vremena za date operacije u procesu trasiranja, i ona se prikazuje za svaku radnu jedinicu posebno. Izračunavanje učestalosti (frekfencije) ćemo obeležiti sa f_{ijk}, gde se i odnosi se na stanice, j predstavlja proces planiranja i k predstavlja redosled operacija.

12.7.3. Operativni parametri u FMS

Koristeći postavljene parametre možemo definisati izvesne prosečne operativne parametre proizvodnog sistema. Prosečno opterećenje za datu stanicu je definisano kao ukupno

vreme utrošeno na stanice putem delova. Proračunato je kao:

$$W\,L_i = \sum_j \sum_k t_{ijk}\, f_{ijk}\, p_j \tag{12.2}$$

gde je:

- $W\,L_i$ – prosečno opterećenje za stanicu,
- t_{ijk} – izračunavanje vremena operacije,
- k – redosled operacija,
- j – predstavlja delove od proizvoda,
- i – odnosi se na stanice,
- f_{ijk} – operativna učestalost,
- p_j – delić od mešanja delova za deo j.

Prosečno opterećenje sistema za manipulaciju predstavlja vreme transporta koje se množi sa srednjim brojem transporta potrebnog za kompletiranje proizvodnje radnog dela. Srednji broj transporta je jednak srednjem broju operacija u procesu trasiranja minus jedan.

$$n_t = \sum_i \sum_j \sum_k f_{ijk}\, p_j - 1 \tag{12.3}$$

gde je n_t – srednji broj transportovanja pod uslovima koji su definisani ranije.

To bi se moglo prikazati sledećim primerom.

Primer 1 – Određivanje n_t

Ako se uzmu u obzir proizvodni sistemi sa dve stanice: (1) stanica za utovar/istovar i (2) stanica mašinskog obrađivanja. Proizvodnja samo jednog dela, dela A, tako da je delić $p_j = 1.0$. Učestalost ili frekfencija svih operacija $f_{ijk} = 1.0$. Delovi se učitavaju na stanici broj (1), izvlačanje na stanici (2) ka mašinama, zatim dalje slanje nazad na stanicu (1) na istovar (tri operacije za trasiranje). Koristeći jednačinu (12.3), dobijamo:

$$n_t = 1\,(1.0) + 1\,(1.0) + 1\,(1.0) - 1 = 3 - 1 = 2$$

Nakon određivanja n_t možemo da izračunamo prosečno opterećenje sistema za manipulaciju po formuli

$$W\,L_{n+1} = n_t \cdot t_{n+1}$$

12.7.4. Pokazatelji karakteristika sistema

Važan pokazatelj za procenu karakteristika fleksibilnih prizvodnih sistema je proizvodna stopa za sve delove, proizvodna stopa za svaki deo i način, eksploatacija na drugim radnim stanicama i broj zauzetih servera na svakoj radnoj stanici. Ovaj pokazatelj može biti proračunat pod predpostavkom da FMS vrši maksimalno mogućom proizvodnom stopom. Ovu stopu je potrebno usmeriti na stanicu uskog grla u sistemu, koja je stanica sa najvišim prosečnim opterećenjem po serveru. Ono se može jednostavno dobiti sledećom relacijom WL_i/s_i za svaku stanicu. Prema tome, model uskog grla je izvršio identifikaciju sa maksimalnim vrednostima brzina srazmerno svim stanicama.

Ako uzmemo da je WL^* i s^* jednačina prosečnog opterećenja i broja servera, respektivno, za usko grlo stanice. **Maksimalna proizvodna stopa** za sve delove u FMS može se odrediti kao odnos s^* i WL^*:

$$R_P^* = \frac{s^*}{WL^*} \tag{12.4}$$

gde je:

- R_p^* – maksimalna proizvodna stopa za sve delove proizvedene u sistemu, kojima se određuje kapacitet za usko grlo stanice,
- s^* – broj servera na uskom grlu stanice (deo/min),
- WL^* – prosečno opterećenje na uskom grlu stanice (min/deo).

Vrednost R_p^* uključuju sve delove svih stilova i načina proizvodnje u sistemu. **Maksimalna proizvodna stopa delova je**:

$$R_{pj^*} = p_j\,(R_p^*) = p_j\,\frac{s^*}{WL^*} \tag{12.5}$$

gde je:

- R_{pj^*} – maksimalna proizvodna stopa delova j, (deo/min),
- p_j – delić izmešanih delova za deo stila j.

Prosečna eksploatacija svake radne stanice je proporcionalna vremenu koje serveri na radnoj stanici odrade i nisu beskorisni. Ovo se može proračunati kao:

$$U_i = \frac{WL_i}{s_i}\,(R_p^*) = \frac{WL_i}{s_i} \cdot \frac{s^*}{WL^*} \tag{12.6}$$

gde je:

- U_i – eksploatacija na stanici i,
- WL_i – prosečno opterećenje na stanici i, (min/deo),
- s_i – broj servera na ranoj stanici i,
- R_p^* – ukupna proizvodna stopa, (deo/min).

Eksploatacija na uskom grlu stanice je 100% prema ukupnoj proizvodnoj stopi $\mathrm{R}_{\mathrm{p}}^{*}$. Ukupna prosečna eksploatacija stanice se može proračunati na sledeći način:

$$\overline{\mathrm{U}} = \frac{\sum_{\mathrm{i}=1}^{\mathrm{n}+1} \mathrm{U}_{\mathrm{i}}}{\mathrm{n}+1} \tag{12.7}$$

gde je $\overline{\mathrm{U}}$ neponderisana sredina eksploatacije radne stanice.

Više korisnija predpostavka FMS eksploatacije može se upotrebiti korišćenjem ukupnog ponderisanja, gde je ponderisanje bazirano na broju servera svake stanice za n redovnih stanica u sistemu, i transportni sistem je izostavljen od ukupnog.

Argument za izostavljanje transportnog sistema leži u tome što eksploatacija stanica za obradu je veoma važan pokazatelj u FMS. Cilj transportnog sistema je da služe stanicama za obradu, i prema tome njegova eksploatacija ne bi trebala da bude uključena u prosečnu. Krajnja eksploatacija FMS bi se izračunavala:

$$\overline{\mathrm{U}}_{\mathrm{s}} = \frac{\sum_{\mathrm{i}=0}^{\mathrm{n}} \mathrm{s}_{\mathrm{i}}\, \mathrm{U}_{\mathrm{i}}}{\sum_{\mathrm{i}=0}^{\mathrm{n}} \mathrm{s}_{\mathrm{i}}} \tag{12.8}$$

gde je:

- $\overline{\mathrm{U}}_{\mathrm{s}}$ – krajnja eksploatacija FMS,
- s_{i} – broj servera na stanici i,
- U_{i} – eksploatacija stanice i.

Najbitniji pokazatelj je broj zauzetih servera na svakoj stanici. Serveri na uskom grlu stanice su zauzeti sa maksimalnom stopom proizvodnje, ali serveri na drugim stanicama su idealni za neko vreme. Vrednost se računa kao:

$$\mathrm{B\,S}_{\mathrm{i}} = W\,\mathrm{L}_{\mathrm{i}}(\mathrm{R}_{\mathrm{p}}^{*}) = W\,\mathrm{L}_{\mathrm{i}}\,\frac{\mathrm{s}^{*}}{W\,\mathrm{L}^{*}} \tag{12.9}$$

gde je:

- $\mathrm{B\,S}_{\mathrm{i}}$ – broj zauzetih servera na prosečnim stanicama i, i
- $W\,\mathrm{L}_{\mathrm{i}}$ – prosečno opterećenje po stanici i.

Primer 2 – Model uskog grla za slučaj jednostavnijeg problema

Fleksibilni proizvodni sistem sastoji se od stanica za utovar/istovar i dve radne stanice sa mašinama. Stanica (1) je stanica za utovar/istovar, dok stanica (2) izvršava veliki broj operacija i sastoji se od dva servera (dve identične CNC glodalice). Stanica (3) ima jedan server koji omogućuje proces bušenja (CNC bušilica). Stanice su spojene sistemom za transport delova koji ima četiri radna nosača. Vreme transporta je $3,0$ minuta. FMS proizvodi dva dela, A i B. Mešanje delića delova i proces trasiranja za dva dela je prezentovan u tabeli 12.2.

Tabela 12.2. *Podaci*

Deo j	Mešanje delova p_j	Operacija k	Opis	Stanica i	Vreme procesa t_{ijk} (min)
A	0.4	1	Učitavanje	1	4
		2	Fabrika	2	3
		3	Bušenje	3	10
		4	Istovar	1	2
B	0.6	1	Učitavanje	1	4
		2	Fabrika	2	40
		3	Bušenje	3	15
		4	Istovar	1	2

Rešenje

(a) Da bi smo proračunali brzinu proizodnje FMS, prvo moramo izračunati prosečno opterećenje svake stanice, da bi smo mogli izvršiti identifikaciju na uskom grlu stanice:

$$\begin{aligned} WL_1 &= (4+2)\cdot(0,4)\cdot(1,0) + (4+2)\cdot(0,6)\cdot(1,0) = 6,0\,\text{min} \\ WL_2 &= 30\cdot(0,4)\cdot(1,0) + 40\cdot(0,6)\cdot(1,0) = 36,0\,\text{min} \\ WL_3 &= 10\cdot(0,4)\cdot(1,0) + 15\cdot(0,6)\cdot(1,0) = 13,0\,\text{min} \end{aligned}$$

Trasiranje stanica za oba dela je isto: $1 \to 2 \to 3 \to 1$. Tu imamo tri kretanja, $n_t = 3$.

$$WL_4 = 3\cdot(3,0)\cdot(0,4)\cdot(1,0) + 3\cdot(3,0)\cdot(0,6)\cdot(1,0) = 9,0\,\text{min}$$

Stanica uskog grla je realizovala identifikaciju nalazeći najveći odnos WL_i/s_i:

- za stanicu (1), $WL_1/s_1 = 6,0/1 = 6,0\,\text{min}$,
- za stanicu (2), $WL_2/s_2 = 36,0/2 = 18,0\,\text{min}$,
- za stanicu (3), $WL_3/s_3 = 13,0/1 = 13,0\,\text{min}$.

Maksimalan odnos se javlja na stanici (2), tako da je to stanica koja određuje maksimalnu stopu proizvodnje za sve delove napravljene u sistemu:

$$R_p^* = \frac{2}{36} = 0,05555\,\frac{\text{deo}}{\text{min}} = 3,333\,\frac{\text{deo}}{\text{sat}}.$$

(b) Da bi smo odredili stopu proizvodnje svakog proizvoda, množićemo sa R_p^* dotičnim delićima koji se mešaju:

$$\begin{aligned} R_{pA^*} &= 3,333\,(0,4) = 1,333\,\text{deo/sat} \\ R_{pB^*} &= 3,333\,(0,6) = 2,00\,\text{deo/sat} \end{aligned}$$

(c) Eksploatacija svake stanice se može izračunati korišćenjem jednačine:

$$\mathrm{U}_1 = (6,0/1)\,(0,05555) = 0,333\ (33,3\%)$$
$$\mathrm{U}_2 = (36,0/2)\,(0,05555) = 1,0\ (100\%)$$
$$\mathrm{U}_3 = (13,0/1)\,(0,05555) = 0,722\ (72,2\%)$$
$$\mathrm{U}_4 = (9,0/4)\,(0,05555) = 0,125\ (12,5\%)$$

(d) Srednji broj zauzetih servera na svakoj stanici se određuje korišćenjem jednačine:

$$\mathrm{B\,S}_1 = 6,0\,(0,05555) = 0,333$$
$$\mathrm{B\,S}_2 = 36,0\,(0,05555) = 2,0$$
$$\mathrm{B\,S}_3 = 13,0\,(0,05555) = 0,722$$
$$\mathrm{B\,S}_4 = 9,0\,(0,05555) = 0,50$$

Primer 3 – Model uskog grla na većim i složenijim zadacima

Neki FMS se sastoje od četiri stanice. Stanica (1) je stanica za utovar/istovar sa jednim serverom. Stanica (2) izvodi operacije glodanja sa tri servera (tri identična CNC glodalice). Stanica (3) izvodi operaciju bušenja sa dva servera (dve identične CNC bušilice). Stanica (4) je stanica za ispitivanje sa jednim serverom koji izvršava inspekciju na jednom od uzorka. Stanice su spojene sistemom za manipulaciju delova koja imaju dva radna nosača i srednje vreme transporta od $3,5$ minuta. U FMS se proiozvode četiri dela, A, B, C i D. Mešanjem delića i procesa trasiranja za četiri dela je prezentovano u sledećoj tabeli. Napomena da učestalost operacija u stanici za inspekciju $\mathrm{f}_{4\mathrm{fk}}$ je manje od $1,0$ prema uzorku za tu činjenicu da je jedini delić koji je kontrolisan. Odrediti:

- maksimalnu brzinu proizvodnje u FMS,
- odgovarajuću brzinu proizvodnje za svaki deo,
- eksploataciju svake stanice u sistemu, i
- krajnju eksploataciju FMS.

Rešenje

(a) Prvo će se proračunati prosečno opterećenje na radnoj stanici unutar poretka prema identifikaciji na uskom grlu stanice:

$$W\,\mathrm{L}_1 = (4+2)\,(1,0)\,(0,1+0,2+0,3+0,4) = 6,0\,\mathrm{min}$$
$$W\,\mathrm{L}_2 = 20\,(1,0)\,(0,1) + 25\,(1,0)\,(0,2) + 30\,(1,0)\,(0,3) = 19,0\,\mathrm{min}$$
$$W\,\mathrm{L}_3 = 15\,(1,0)\,(0,1) + 16\,(1,0)\,(0,2) + 14\,(1,0)\,(0,3) + 23\,(1,0)\,(0,3) = 19,0\,\mathrm{min}$$
$$W\,\mathrm{L}_4 = 12\,(0,5)\,(0,1) + 15\,(0,2)\,(0,2) + 8\,(0,5)\,(0,3) + 12\,(0,333)\,(0,4) = 4,0\,\mathrm{min}$$
$$\mathrm{n_t} = (3,5)\,(0,1) + (4,2)\,(0,2) + (2,5)\,(0,3) + (2,333)\,(0,4) = 2,873$$
$$W\,\mathrm{L_s} = 2,873\,(3,5) = 10,06\,\mathrm{min}$$

Usko grlo stanice se identifikuje sa najvećim odnosom $W\,\mathrm{L}/s$:

- Za stanicu (1), $W\,\mathrm{L}_1/\mathrm{s}_1 = 6,0/1 = 6,0$,
- Za stanicu (2), $W\,\mathrm{L}_2/\mathrm{s}_2 = 19,0/3 = 6,333$,
- Za stanicu (3), $W\,\mathrm{L}_3/\mathrm{s}_3 = 14,4/2 = 7,2$,
- Za stanicu (4), $W\,\mathrm{L}_4/\mathrm{s}_4 = 4,0/1 = 4,0$.

Maksimalan odnos se javlja na stanici (3), tako da je po stanici uskog grla određen maksimalan odnos proizvodnje u sistemu:

$$\mathrm{R}_\mathrm{p}^* = \frac{2}{14,4} = 0,1389\,\frac{\text{deo}}{\text{min}} = 8,333\,\frac{\text{deo}}{\text{sat}}$$

Tabela 12.3. *Podaci*

Deo *j*	Mešanje delova p_j	Operacija *k*	Opis	Stanica *i*	Vreme procesa t_{ijk} (min)	Frekfencija f_{ijk}
A	0.1	1	Učitavanje	1	4	1.0
		2	Glodanje	2	20	1.0
		3	Bušenje	3	15	1.0
		4	Kontrola	4	12	0.5
		5	Istovar	1	2	1.0
B	0.2	1	Učitavanje	1	4	1.0
		2	Glodanje	3	16	1.0
		3	Bušenje	2	25	1.0
		4	Glodanje	3	14	1.0
		5	Kontrola	4	15	0.2
		6	Istovar	1	2	1.0
C	0.3	1	Učitavanje	1	4	1.0
		2	Bušenje	3	23	1.0
		3	Kontrola	4	8	0.5
		4	Istovar	1	2	1.0
D	0.4	1	Učitavanje	1	4	1.0
		2	Glodanje	2	30	1.0
		3	Kontrola	4	1	0.333
		4	Istovar	1	2	1.0

(b) Određivanje stope proizvodnje za svaki proizvod, množenjem sa R_p^* pomoću njegovih dotičnih delića koji se mešaju:

$$\mathrm{R}_{\mathrm{p\,A}^*} = 8,333\,(0,1) = 0,8333\,[\text{deo/sat}]$$
$$\mathrm{R}_{\mathrm{p\,B}^*} = 8,333\,(0,2) = 1,667\,[\text{deo/sat}]$$
$$\mathrm{R}_{\mathrm{p\,C}^*} = 8,333\,(0,3) = 2,50\,[\text{deo/sat}]$$
$$\mathrm{R}_{\mathrm{p\,D}^*} = 8,333\,(0,4) = 3,8333\,[\text{deo/sat}]$$

(c) Eksploatacija svake stanice se može odrediti korišćenjem jednačine:

$$\begin{aligned}
\mathrm{U}_1 &= (6,0/1)\,(0,1389) = 0,833\ (83,3\%)\\
\mathrm{U}_2 &= (19,0/3)\,(0,1389) = 0,879\ (100\%)\\
\mathrm{U}_3 &= (14,4/2)\,(0,1389) = 1,000\ (100\%)\\
\mathrm{U}_4 &= (4,0/1)\,(0,1389) = 0,555\ (55,5\%)
\end{aligned}$$

(d) Krajnja eksploatacija FMS se može izračunati korišćenjem prosečnog ponderisanja iznad vrednosti gde je ponderisanje bazirano na broju servera na stanicama i sistema za manipulaciju delova je isključen iz proseka, kao u jednačini:

$$\overline{\mathrm{U}}_\mathrm{s} = \frac{1\,(0,833) + 3\,(0,879) + 2\,(1,0) + 1\,(0,555)}{7} = 0,861 \quad \text{ili} \quad (86,1\%)$$

U prethodnom primeru je potrebno naglasiti da je stopa proizvodnje konkretnog dela D ograničena sa delićima koji se mešaju skoro kao na uskom grlu stanice (stanica 3). Deo D još nije ni prosleđen u usko grlo stanice. Umesto prosleđivanja kroz stanicu (2), koja ima neiskorišćen kapacitet. Shodno mogućnostima trebalo bi se izvršiti povećanje izlazne brzine dela D tako što će se povećati delići koji se mešaju i u isto vreme će doći do povećanja eksploatacije na stanici (2) do 100%.

Primer 4 – Povećanje neiskorišćenog kapaciteta na stanici

Polazeći od jednačine za određivanje maksimalne stope proizvodnje delova dobijamo vrednost eksploatacije na stanici (2), $\mathrm{U}_2 = 87,9\%$. Određivanje stope proizvodnje dela D koje će uticati na povećanje eksploatacije na stanici (2) do 100%.

Rešenje

Eksploatacija se na radnim stanicama određuje korišćenjem sledeće jednačine za stanicu (2):

$$\mathrm{U}_2 = \frac{W\,\mathrm{L}_2}{3}\,(0,1389)$$

Povećanje eksploatacije na stanici (2) do 100% možemo rešiti za dotične

$$W\,\mathrm{L}_2 = \frac{1,0\,(3)}{0,1389} = 21,6\,\mathrm{min}$$

Ovo poređenje sa prethodnom vredošću radnog mesta od 19 minuta je urađeno u prethodnom primeru. Potrebno je obezbediti radna mesta za obe vrednosti koja je zaračunata u dela A i B. Ovaj deo je:

$$W\,\mathrm{L}_2\,(\mathrm{A}+\mathrm{B}) = 20\,(0,1)\,(1,0) + 25\,(0,2)\,(1,0) = 7,0\,\mathrm{min}$$

Preostali delovi na radnim mestima bi radili kao deo D:

- Za radno mesto sa eksploatacijom od 100%:

$$W\,\mathrm{L}_2(\mathrm{D}) = 21,6 - 7,0 = 14,6\,\mathrm{min}$$

- Za radno mesto sa eksploatacijom od $87,9\%$:

$$W\,\mathrm{L}_2(\mathrm{D}) = 19,0 - 7,0 = 12,0\,\mathrm{min}$$

Sada možemo koristiti odnos ovih vredosti da bi proračunali novu (povećanu) brzinu proizvodnje za deo D:

$$\mathrm{R}_{\mathrm{pD}} = \frac{14,6}{12,0}\,(3,333) = 1,2167\,(3,333) = 4,055\,\frac{\mathrm{deo}}{\mathrm{sat}}$$

Proizvodna stopa za tri preostala proizvoda je ostala ista. Prema tome, proizvodna stopa za sve delove se povećava na sledeći način:

$$\mathrm{R}_{\mathrm{p}}^{*} = 0,833 + 1,667 + 2,500 + 4,055 = 9,055\,\frac{\mathrm{deo}}{\mathrm{sat}}$$

Iako je proizvodna stopa za ostala tri proizvoda nepromenjena, povećanje brzine proizvodnje za deo D promeniće relativne delove delića koji se mešaju.

Nove vrednosti bi bile:

$$\mathrm{p}_{\mathrm{A}} = \frac{0,833}{9,055} = 0,092$$
$$\mathrm{p}_{\mathrm{B}} = \frac{1,667}{9,055} = 0,184$$
$$\mathrm{p}_{\mathrm{C}} = \frac{2,500}{9,055} = 0,276$$
$$\mathrm{p}_{\mathrm{D}} = \frac{4,055}{9,055} = 0,448$$

12.7.5. Proširen model uskog grla ili smetnje

Model uskog grla predpostavlja da je u stanici uskog grla iskorišćenost 100% i pošto tu nema nikakvog odlaganja postoji obaveza prema redovima unutar sistema. Solvberg je nastojao da dokaže da predpostavku o 100% eksploatacije po modelu uskog grla koji se nalazi iznad optimističnog i model redova koji zaračunava promenu vremena obrade (procesa) i odlaganje bi bilo realno i detaljno opisano performansama fleksibilnog proizvodnog sistema.

Alternativni pristup je razvijao Mejabi, ponašanje nekih slabosti modela uskog grla bez ponovnog razvrstavanja u redove i izračunavanja (što bi moglo predstavljati problem). On naziva njegov pristup *proširen model uskog grla ili smetnje*. Ovaj prošireni model predpostavlja zatvaranje čitave mreže redova unutar kojih bi se uvek nalazio izvestan broj radnih delova u FMS. Uzmimo da je N broj delova u sistemu. Kada je jedan deo završen

i postoji u FMS, a novi redovi delova automatski ulaze u sistem, imamo da N ostaje konstantno. Novi deo može i ne mora da ima isti proces trasiranja kao i neki koji su isporučeni. Proces trasiranja i ulaska novih delova je određen saglasno prema verovatnoći p_j.

Broj delova u sistemu ima kritičnu ulogu u operacijama u proizvodnim sistemima. Ako je N malo (recimo, mnogo manje nego što je broj radnih stanica), onda bi neke od stanica bile slobodne zbog izgladnelosti, odnosno smanjenja ulaza delova, a ponekad i stanica uskog grla. U ovom slučaju, stopa proizvodnje u FMS bi bila manja nego korišćenje jednačine za proračun maksimalne stope proizvodnje R_p^*. Ako je N veće (recimo, mnogo veće nego što je broj radnih stanica), onda bi sistem bio potpuno opterećen, sa redovima delova koji čekaju ispred stanice. U ovom slučaju R_p^* će pružiti dobre procene od proizvodnih kapaciteta sistema. Međutim, procesni rad (`WIP` – *work in process*) će biti visok, a glavno vreme proizvodnje (`MLT` – *manufacturing lead time*) će biti duže.

Procesni rad odgovara N, i glavno vreme proizvodnje je suma svih vremena na radnim stanicama, vreme transporta između stanica, i bilo koje vreme čekanja gde dolazi do suočavanja delova u sistemu. MLT se može izraziti kao:

$$\mathrm{MLT} = \sum_{i=1}^{n} W\,L_i + W\,L_{n+1} + T_w \tag{12.10}$$

gde je:

- $\sum_{i=1}^{n} W\,L_i$ – suma prosečng obima posla na svim stanicama u FPS,
- $W\,L_{n+1}$ – obim posla sistema za manipulaciju delova i
- T_w – predstavlja vreme čekanja i součavanja delova, zbog formiranja redova u sistemu.

WIP i MLT su usaglašeni. Ako je N malo, tada će MLT preuzeti svoju najmanju moguću vrednost zato što će vreme čekanja biti kratko ili čak i nula. Ako je N veliko, onda će MLT biti duže i samim tim će postojati vreme čekanja u sistemu. Tako da imamo dva alternativna slučaja, i usklađivanja moraju biti napravljena u modelu uskog grla koja će biti odgovorna za njih. Da bi smo uradili ovo, Majabi je primenio dobro poznatu jednačinu Litla:

$$L = \lambda W \tag{12.11}$$

gde je:

- L – očekivani broj jedinica u sistemu,
- λ – brzina obrađivanja jedinica u sistemu, i
- W – očekivano vreme provedeno sa jedinicom u sistemu.

Litlova jednačina uspostavlja odnos između očekivanog vremena koje jedinica troši u sistemu, srednje stope proizvodnje (obrade) stvari u sistemu, i srednjeg broja jedinica u sistemu. Može se matematički dokazati na uspostavljanju jedinstvene stanice u sistemu,

i generalno opšte važnosti su prihvaćene za multi stanice u sistemu. Koristeći svoje sopstvene simbole Litlova jednačina se može izraziti kao:

$$\mathrm{N} = \mathrm{R_p}\,(\mathrm{MLT}) \tag{12.12}$$

gde je:

- N – broj delova u sistemu, deo.
- $\mathrm{R_p}$ – proizvodna stopa (obrada) u sistemu, $\mathrm{deo/min}$, i
- MLT – glavno vreme proizvodnje (vreme provedeno u sistemu po jednom delu), min.

Ovo sada možemo primeniti na dva slučaja.

Slučaj 1. Kada je N malo, proizvodna stopa je manja negu u slučaju sa modelom uskog grla zato što stanica sa uskim grlom nije u potpunosti upotrebljenja. U ovom slučaju, vreme čekanja T_w jedinica je teorijski nula i smanjuje se

$$\mathrm{MLT_1} = \sum_{\mathrm{i}=1}^{\mathrm{n}} W\,\mathrm{L_i} + W\,\mathrm{L_{n+1}}$$

gde je indeks u $\mathrm{MLT_1}$, koji se koristi da se identifikuje primer 3. Stopa proizvodnje se može proceniti koristeći Litlovu jednačinu:

$$\mathrm{R_p} = \frac{\mathrm{N}}{\mathrm{MLT_1}}$$

i stopa proizvodnje pojednih delova je:

$$\mathrm{R_{p\,j}} = \mathrm{p_j}\,\mathrm{R_p}$$

Kao što je navedeno, za vreme čekanja se predpostavlja da je jednako nuli:

$$\mathrm{T}_w = 0$$

Slučaj 2. Kada je N veliko, procenjena maksimalna proizvodna stopa je, pod uslovom da je jednačina validna, jednaka:

$$\mathrm{R_p^*} = \frac{\mathrm{s}^*}{W\,\mathrm{L}^*}$$

gde zvezdica $(*)$ ukazuje da bi stopa proizvodnje bila ograničena u stanici uskog grla u sistemu. Stopa proizvodnje pojedinačnih proizvoda su:

$$\mathrm{R_{p\,j^*}} = \mathrm{p_j}\,\mathrm{R_p^*}$$

U ovom slučaju, glavno vreme u prosečnoj proizvodnji se procenjuje korišćenjem Litlove jednačine:

$$\mathrm{MLT_2} = \frac{\mathrm{N}}{\mathrm{R_p^*}}$$

Srednje vreme čekanja deo troši u sistemu i može se proceniti preuređivanjem jednačine (MLT) da bi smo odredili T_w:

$$T_w = MLT_2 - \left(\sum_{i=1}^{n} WL_i + WL_{n+1} \right) \tag{12.13}$$

Odluka o tome da li da se koristi slučaj 1 ili slučaj 2 zavisi od vrednosti N. Podelom linije između slučaja 1 i 2, se utvrđuje da li je N veće ili manje od kritične vrednosti koje je dato

$$N^* = R_p^* \left(\sum_{i=1}^{n} WL_i + WL_{n+1} \right) = R_p^* \ (MLT_1) \tag{12.14}$$

gde je:

- N^* – kritična vrednost N, koja deli liniju između slučaja smetnji i ne smetnji.

Ako je $N < N^*$, onda se prvi slučaj odnosi. Ako je $N \geq N^*$, onda se drugi slučaj odnosi. Važeće jednačine za ta dva slučaja su objedinjene u tabeli 12.4.

Tabela 12.4. *Važeće jednačine za pomenute slučajeve*

Slučaj 1:	**Slučaj 2:**
$N < N^* = R_p^* \left(\sum_{i=1}^{n} WL_i + WL_{n+1} \right)$	$N \geq N^* = R_p^* \left(\sum_{i=1}^{n} WL_i + WL_{n+1} \right)$
$MLT_1 = \sum_{i=1}^{n} WL_i + WL_{n+1}$ $R_p = \frac{N}{MLT_1}$ $R_{pj} = p_j R_p$ $T_w = 0$	$R_p^* = {}^{s^*}/_{WL^*}$ $R_{pj}{}^* = p_j R_p{}^*$ $MLT_2 = \frac{N}{R_p{}^*}$ $T_w = MLT_2 - \left(\sum_{i=1}^{n} WL_i + WL_{n+1} \right)$



Slika 12.24. *Fleksibilni proizvodni sistemi*

Glava 13

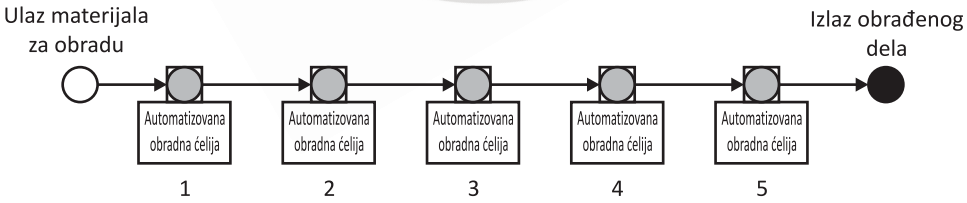
Fleksibilne automatizovane protočne linije

Fleksibilna automatizovana oprema se upotrebljava u obradi raznovrsnih diskretnih delova u velikim obimima. Oprema je često u konfiguraciji mehanički integrisanih protočnih linija, sadržanih od brojnih ćelija koje izvršavaju obradne operacije na liniji. Protočne linije se jedinstveno nazivaju transfer mašine ili transfer linije. Koncept automatizovanih protočnih linija se koristi u raznovrsnim proizvodnim procesima.

Najveći problem koji je neophodno rešiti je određivanja redosleda delova u liniji. Upotreba računara omogućuje automatsku numeraciju i mogući tok delova.

13.1. Automatizovane protočne linije

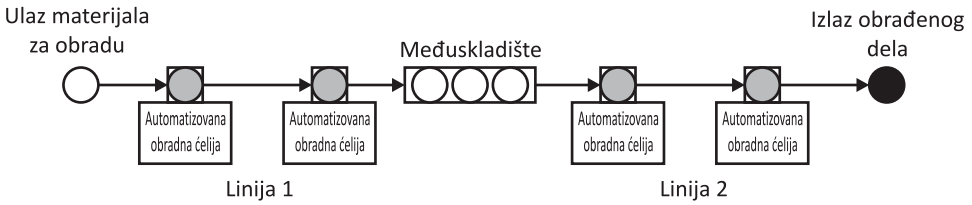
Automatizovana protočna linija sastoji se od nekoliko mašina ili ćelija koje su povezane zajedno sa uređajima unutrašnjeg transporta koji prenose delove između ćelija. Transport radnih delova i specijalizovane funkcije ćelija izvršavaju se automatski. Na slici 13.1 prikazana je automatizovana protočna linija. Neobrađen radni deo ulazi na početak linije i obradni proces se realizuje po delovima u fazi kretanja od jedne do druge ćelije.



Slika 13.1. *Automatizovana protočna linija*

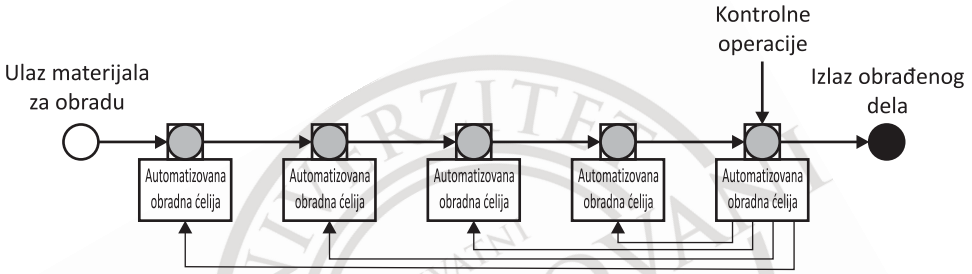
Međuskladišne zone mogu biti ugrađene u protočnu liniju, između svake ćelije. Slika 13.2 ilustruje slučaj dve obradne linije odvojene međuskladištem.

Ugradnjom kontrolne petlje u protočnu liniju unapređuje se kontrola kvaliteta kroz proizvodni pogon, slika 13.3. Jedna inspekcijska ćelija bi se koristila za praćenje izvesnih svojstava kvaliteta delova i za informacije povratne sprege do obradnih ćelija tako da u procesu mogu da se rade podešavanja.



Slika 13.2. *Protočne linije odvojene međuskladištem*

Robotizovane ćelije mogu takođe da se lociraju duž protočne linije da bi se izvršavale izvesne operacije koje su teške ili nehumane za radnike.



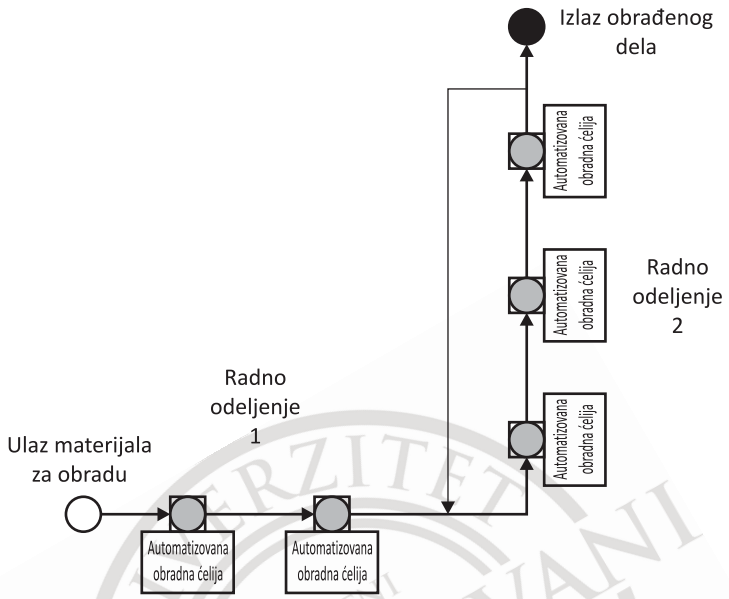
Slika 13.3. *Ćelija za kontrolu sa povratnom petljom do uzvodnih radnih ćelija*

Automatizovane protočne linije generalno su najpogodnije sredstvo proizvodnje u slučajevima relativno stabilnog života proizvoda, visoke tražnje proizvoda, koja zahteva visoke stope proizvodnje i gde bi alternativna metoda proizvodnje povlačila za sobom veliku količinu rada. Osnovni ciljevi automatizacije linije su:

- smanjenje radnih troškova;
- povećanje proizvodne stope;
- smanjenje proizvodnje u toku;
- minimiziranje rastojanja pređenih između operacija;
- postizanje specijalizacije operacija;
- postizanje integracije operacija.

Danas su u primeni dve osnovne konfiguracije: linijska i rotaciona.

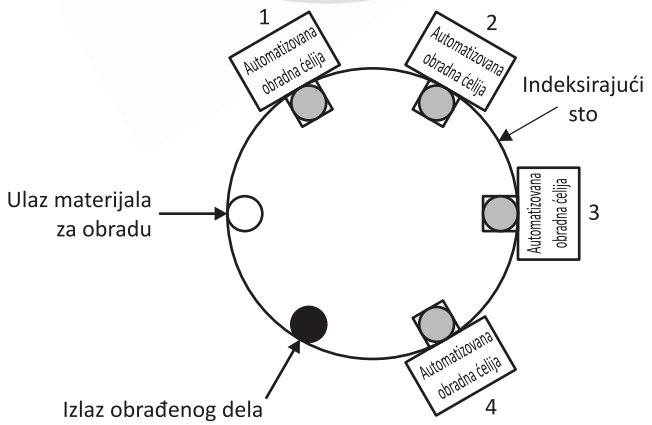
Linijska konfiguracija sastoji se od redosleda ćelija u pravolinijskom uređenju. Tok predmeta rada može uzeti nekoliko obrta od 90ř, bilo zbog reorijentacije radnih komada, ograničenja fabričkog rasporeda ili drugih razloga, pri čemu još uvek može da se kvalifikuje kao pravolinijska konfiguracija. Opšti obrazac toka predmeta rada, na primer, jeste pravougaonog oblika, koji bi dozvolio da isti radnik utovari početne radne komade i istovari gotove radne komade. Jedan primer linijske transfer mašine korišćene za operacije rezanja metala ilustrovan je na slici 13.4.



Slika 13.4. *Linijska konfiguracija*

Linija sadrži dva odeljenja: 2-ćelijsko odeljenje slobodnog transfera i 3-ćelijsko paletizovano odeljenje. Skretanje između dva odeljenja reorijentiše radne delove. Povratna petlja omogućuje vraćanje paleta do polazne tačke brojčanika. Delovi se voze na rotirajućem stolu i registruju ili pozicioniraju, po redu, na svakom mestu za obradnu ili montažnu operaciju.

U **rotacionoj konfiguraciji** radni delovi se indeksiraju oko kružnog stola ili brojčanika. Ćelije su stacionarne i obično locirane oko spoljašnje periferije Ovaj tip opreme često se pominje kao indeksirajuća mašina ili brojčanik indeksna mašina, a konfiguracija je prikazana na slici 13.5.



Slika 13.5. *Konfiguracija rotacione indeksirajuće mašine*

Rotacioni tip obično je ograničen na manje radne komade i manji broj mesta. Generalno nema mnogo fleksibilnosti u dizajnu rotacione konfiguracije. Dizajn tipa brojčanika nije prikladan za obezbeđenje kapaciteta međuskladišta. Rotaciona konfiguracija obično obuhvata jeftine komade opreme i tipično zahteva manje fabričkog podnog prostora.

Izbor između dva tipa zavisi od primene. Linijski dizajn je bolji za veće radne komade i može se prilagoditi većem broju ćelija. Broj mesta na brojčaničkoj indeksnoj mašini je ograničen usled veličine brojčanika. Linijske mašine mogu se fabrikovati sa ugrađenom skladišnom sposobnošću da "kompenzuju" efekat zastoja predmeta rada na pojedinačnim mestima i druge nepravilnosti.

13.2. Transport radnih delova

Transfer mehanizam automatizovane protočne linije omogućuje:

- transport delimično kompletiranih delove ili sklopove između susednih mesta.
- orijentaciju i lokaciju delove u korektnu poziciju za obradu na svakom mestu.

Opšte metode transportovanja radnih komada na protočnim linijama može se klasifikovati u sledeće kategorije:

- neprekidan transfer;
- prekidan ili sinhroni transfer; i
- asinhroni transfer.

Ove tri kategorije razlikuju se po tipu kretanja koje transfer mehanizam prenosi na radne komade. Najpogodniji tip transportnog sistema za datu primenu zavisi od takvih faktora kao što su:

- tipove operacija koje bi se izvršavale;
- broj mesta u liniji;
- težina i veličina radnih komada;
- da li su ručna radna mesta uključena u liniju;
- zahtevi proizvodne stope;
- uravnoteženje različitih vremena obrade u liniji.

Transport predmeta rada mora sprečiti sve rizike i moguće izvore konfuzije. Transfer sistemi upotrebljavaju se i za obradne i za montažne operacije. U slučaju automatskih montažnih mašina poziva se na mehani/me koji transportuju delimidno kompletirane sklopove između mesta, a ne na mehanizme snabdevanja koji predstavljaju nove komponente za sklopove na posebnim mestima. Uređaji koji snabdevaju i orijentišu komponente normalno su jedan integralni deo ćelije.

Pri neprekidnom transferu radni delovi se kreću neprekidno konstantnom brzinom. To zahteva da se radne glave kreću za vreme obrade da bi se održala neprekidnost rada. Za neke tipove operacija, kretanje radnih glava za vreme obrade nije moguće. Primeri upotrebe su u operacijama flaširanja pića, montaži i ručnim montažnim operacijama. Pri flaširanju, flaše se transportuju oko neprekidnog doboša a piće se puni u pokretne flaše preko otvora za ispušanje lociranih na periferiji doboša.

Ovaj tip sistema na mašinskoj transfer liniji je teško koristiti zbog problema inercije koji nastaje usled veličine i težine radnih glava.

Neprekidni transfer sistemi relativno se lako projektuju, ugrađuju i mogu postići visoku stopu proizvodnje.

Prekidni transfer je metoda pri kojoj se radni komadi transportuju sa prekidnim ili isprekidanim kretanjem. Ćelije su fiksirane na poziciji i delovi se kreću između mesta i onda registruju na pravim lokacijama za obradu. Radni delovi se transportuju istovremeno pa se ova metoda još naziva "sinhroni transfer sistem". Primena prekidnog transfera radnih delova je u mehanizovanoj montaži, mašinskim i operacijama presovanja i pri progresivnom kovanju.

Asinhroni transfer omogućuje svakom radnom delu da se premesti do sledećeg mesta kada je obrada na tekućem mestu završena. Asinhroni transfer se još naziva i kao "sistem sa slobodnim pogonom". Delovi se kreću nezavisno od drugih delova, pa se čak deo delova obrađuje na liniji, u isto vreme dok se drugi transportuju između mesta.

Asinhroni transfer sistemi omogućuju veću fleksibilnost nego što to čine druga dva sistema, a ova fleksibilnost može biti velika prednost u izvesnim okolnostima. Procesno skladište radnih delova može biti ugrađeno u asinhrone sisteme sa relativnom lakoćom. Ovi sistemi unose popravku za probleme uravnoteženja linije gde ima značajnih razlika u procesnim vremenima između mesta. Paralelna mesta (nekoliko serijskih mesta) mogu biti upotrebljeni za duže operacije, a pojedinačna mesta mogu biti upotrebljena za kraće operacije. Asinhrone linije često se upotrebljavaju tamo gde ima jedno ili više ručno izvršavanih mesta, a promene vremena ciklusa (takta) bile bi problem bilo na neprekidnim ili sinhronim transport sistemima.

Nedostatak sistema sa slobodnim pogonom jeste da su stope ciklusa sporije nego za druge tipove.

Transfer sistem se ponekad projektuje da bi se prilagodio nekoj vrsti paletnog uređaja. Radni delovi se pričvršćuju na paletne uređaje i palete se prenose između mesta, noseći deo po njegovom redosledu operacija. Paletni uređaj se projektuje tako da može biti pogodno prenet, lociran i učvršćen sponom u poziciji na uzastopnim mestima. Pošto se deo precizno locira u uređaj, on se stoga korektno pozicionira za svaku operaciju. Pogodan transfer, lokacije radnih delova i upotreba za raznovrsne slične delove.

Smanjenje troška paletnog uređaja su podstakla na razvoj metode lokacije i montiranja radnih delova koji ne koristi palete. Radni delovi se sami indeksiraju od mesta do mesta. Kada deo stigne na mesto automatski se učvršćuje sponom u poziciju za operaciju.

13.3. Transfer linije

Transfer linija se tradicionalno koristila za mašinsku izradu pojedinačnog proizvoda u velikim količinama sa vremenski dugim proizvodnim serijama. Transfer linija ima veliku mogućnost prilagođavanja i najviše je u primeni, slika 13.4. Delovi se automatski prenose od jednog do drugog mesta a ćelije su složene duž pravolinijskog toka. Radni delovi mogu biti transportovani sa ili bez paletnih uredaja, transfer sistem može biti sinhron ili asinhron, međuskladište može biti uključeno u rad linije ako se želi. Transfer mašina nudi najveću fleksibilnost među primenjenim mašinama. Za razliku od rotacionog tipa indeksirajućeg sistema, transfer linija može da se prilagodi većim radnim komadima. Broj mesta istoga broj operacija koji može biti uključen u liniju veći je nego za kružno uređenje.

Transfer mašine se projektuju za postupan prelaz kako bi omogućile da različiti radni delovi budu proizvedeni na istoj liniji. Fleksibilno projektovanje transfer linije im daju posebnu privlačnost.

13.4. Optimalni raspored delova

Definisanje redosleda operacija/poslova (delova) ili optimalizacija redosleda obrade m delova (proizvoda) u n ćelija (mašina) može se opisati na sledeći način:

1. U ćelijama $C_1, C_2, \ldots, C_j, \ldots, C_n$, neophodno je realizovati operacije nad elementima $D_1, D_2, \ldots, D_i, \ldots, D_m$.

2. Za svaki od delova poznat je tehnološki redosled $A_i = (a_{i1}, a_{i2}, \ldots, a_{ij}, \ldots, a_{in})$, $(i = 1, 2, \ldots, m)$, koji predstavlja jednu permutaciju brojeva $(1, 2, \ldots, j, \ldots, n)$, gde je a_{ij} ćelija u kojoj treba izvršiti j-tu operaciju nad i-tim delom.

3. Definisano je vreme obrade (uključujući pripremu/ako postoji) i-tog dela u toj ćeliji - t_{ij}, $(i = 1, 2, \ldots, m;\ j = 1, 2, \ldots, n)$.

4. Svi delovi su istovremeno raspoloživi.

5. Mašina može obraditi samo jedan deo u datom vremenu.

6. Svaki deo može biti u obradi na samo jednoj mašini u datom vremenu za svaki deo i, t_{ij} se mora završiti pre nego što t_{ij+1} može početi.

7. Ne postoje prioriteti u obradi (preče pravo obrade) a nije dozvoljeno nikakvo vanredno definisanje/umetanje redosleda.

8. Optimizacijom redosleda obrade delova omogućuje se da ukupno vreme izvršenja svih operacija na svim delovima bude minimalno.

Specijalan slučaj ovog problema kada je $A_i = (1, 2, \ldots, j, \ldots, n)$, $(j = 1, 2, \ldots, m)$, predstavlja problem redoseda delova u fleksibilnim automatizovanim transfer linijama koji je predmet ovog poglavlja. Ovaj problem je tipičan statički problem redosleda u predmetnom-protočnom tipu fabričkog rasporeda gde m delova mora da se obradi od strane skupa n

ćelija. Svi delovi se obrađuju u planiranom vremenskom periodu. Nije dozvoljeno da delovi pretiču jedni druge (tj. delovi zadržavaju istu poziciju u redosledu). Problem predstavlja planiranje m delova na n ćelija tako da se delovi završe u minimalnom vremenskom razmaku.

13.4.1. Formulacija 0–1 programiranja

Na osnovu rada Petronijevića i Ilića (1994) predlaže se formulacija problema redosleda delova, jedna koja obuhvata binarne promenljive odlučivanja. Promenljiva odlučivanja u ovoj formulaciji definiše se kao:

- $X_{ik} = 1$ kada se i-ti deo obrađuje k-ti po redu.
- $X_{ik} = 0$, u protivnom, $(i = 1, 2, \ldots, m;\ k = 1, 2, \ldots, m)$.

Sledi formulacija programa PI. Minimizirati

$$F(X) = f_{min}(x_{i1}, x_{i2}, \ldots, x_{mm}) \tag{13.1}$$

pri ograničenjima:

$$\sum_{i=1}^{m} x_{ik} = 1 \ (k = 1, 2, \ldots, m), \tag{13.2}$$

$$\sum_{k=1}^{m} x_{ik} = 1 \ (k = 1, 2, \ldots, m), \tag{13.3}$$

$$x_{ik} = 1 \ (i = 1, 2, \ldots, m;\ k = 1, 2, \ldots, m) \tag{13.4}$$

gde je

$$f_{pq} = max\{f_{p,q-1}; f_{p-1,q}\} + \sum_{i=1}^{m} t_{iq}\, x_{ip},\ (p = 2, 3, \ldots, n) \tag{13.5}$$

$$f_{p1} = \sum_{k=1}^{p} \sum_{i=1}^{m} t_{i1}\, x_{ik},\ (p = 2, 3, \ldots, m) \tag{13.6}$$

$$f_{1q} = \sum_{j=1}^{q} \sum_{i=1}^{m} t_{ij}\, x_{i1},\ (q = 2, 3, \ldots, n) \tag{13.7}$$

Ograničenje (13.4) garantuje da svaka promenljiva uzima samo vrednosti 0 ili 1, to jest, pozicija ne može da se deli između dva ili više dela i poznato je kao nedeljivo ograničenje. Cilj je minimizirati ukupan iznos vremena potreban da se potpuno obrade svi delovi ili ekvivalentno, $f_{min}(X)$, koje je krajnje vreme obrade m-tog (poslednjeg) dela u n-toj (poslednjoj) ćeliji. Ograničenje (13.2) garantuje da se svaka pozicija dodeli jednom delu, ograničenje (13.3) garantuje da se svaki deo dodeli jednoj poziciji.

13.5. Metode redosleda delova

Jedna od tehnika je potpuno prebrojavanje (enumeracija) redosleda. Ova tehnika je korisna za probleme malog broja delova i ćelija, ali postaje neizvodljiva za veliki broj delova i ćelija. Na primer, ako ima M delova, broj mogućih redosleda je $M!$.

Ako se poveća broj delova (m) i broj ćelija (n), problem redosleda delova postaje komplikovaniji. Ne postoji optimalno rešenje za probleme redosleda delova velikih brojeva m i n. Dakle, pošto problem redosleda delova pripada klasi NP kompletnih problema, skoro sve saopštene studije pribegavaju simulaciji i heurističkim algoritmima kao istraživačkim alatima.

Ako delova treba da se razmatraju otkazne stope mašina i neizvesno vreme obrade, postaje teško, ako ne i nemoguće, rešiti probleme ovog tipa. Pod ovim okolnostima obično se zahtevaju simulacione tehnike.

Druga tehnika koja se koristi u rešavanju problema redosleda jeste razvoj heurističkih ili pretraživačkih metoda koje će koristiti pravila koja teže da daju dobra, možda jedva optimalna rešenja. Nažalost, sa heuristikama obično nema nijedan način da se proveri koliko je rešenje daleko od optimalnog.

Najpre se razmatra situacija gde bi m delova trebalo obraditi na dva mašinska centra $M_1 \rightarrow M_2$. Obradna vremena svih delova na M_1 i M_2 su poznata i deterministička. Potrebno je naći optimalni redosled koji minimizira vremenski razmak izrade za m delova. Johnson (1954) je razvio algoritam koji može da se koristi za dobijanje takvog optimalnog redosleda.

Problem m delova i tri ćelije predstavlja proširenje problema m delova i dve ćelije. Za ovaj problem mogu se naći optimalna rešenja, gde svako rešenje zahteva da se svi delovi obrade po istom redosledu u svakoj liniji. Optimalno rešenje za problem m delova i tri ćelije dobija se korišćenjem:

- Johnsonovog dvomašinskog algoritma, ako su izvesni uslovi ispunjeni; ili
- Ignall i Schrageovog (1965) algoritma grananja i ograđivanja.

Nažalost, nema generalnog rešenja za bilo koji problem gde je m delova, $\mathrm{n} > 3$. Međutim, ima nekih heurističkih tehnika koje mogu dobiti dobre redoslede ili mogu dobiti optimalne redoslede (u mnogim slučajevima nemoguće je proveriti optimalnost).

Stinson i Smith (1982) razvili su jedan heuristički algoritam za statički problem redosleda m delova, n mašina u predmetnom-protočnom tipu fabričkog rasporeda.

Primene modernih heurističkih tehnika (simuliranog kaljenja, tabu pretraživanja i genetskih algoritama) na probleme redosleda mogu se naći u Reeves (1995).

Glava 14

Fleksibilni automatizovani montažni sistemi

Finalni proizvodi su sastavljeni od komponenata. Montažni proces obuhvata dodavanje dva ili više dela da bi se formirao novi entitet, nazvan podsklop (ili sklop). Novi podsklop obezbeđuje se pričvršćivanjem čvrstom razdvojivom vezom (zavrtanj, navrtka, zakivaka) ili nerazdvojivom vezom (zavarivanjem, lemljenjem) ili lepljenjem. Automatska montaža se odnosi na upotrebu mehanizacije i automatskih uređaja za izvršavanje raznih zadataka na linijama za sklapanje gotovih proizvoda na montažnim trakama. Veliki napredak je postignut u tehnologiji automatizacije montažnih sistema. Karakteristična su dostignuća u primeni robotizovane montažne linije. Problemi u primeni industrijskih robota se javljaju pri uravnotežavanju radnog opterećenja između robota duž montažne linije. Automatska montaža proizvoda je obično uključena u kategoriju osnovne automatizacije. Deo montažnih sistema je projektovana da izvrše fiksne montažne sekvence ili nizove na sklopovima određenih proizvoda.

Za potpuni nezavisnu primenu tehnologije automatske montaže neophodni su sledeći uslovi:

- **Visoki količinski zahtevi proizvoda**. Automatski montažni sistemi se koriste pri završnom kompletiranju proizvoda napravljenih u milionima jedinica.
- **Stabilnost dizajna proizvodnja**. Delimične promene u dizajnu proizvoda podrazumevaju promenu u montažnoj radnoj stanici. To zahteva postavljanje novih alata, kreiranje novih sekvencijalnih i potpunih montažnih operacija.
- **Ograničen je broj komponenata u montaži**.
- **Dizajniranje proizvoda za montažu**.

Automatska montaža sistema povlači za sobom značajna kapitalna ulaganja. Međutim investicije su uglavnom manje nego za automatske transportne linije. Radne jedinice za automatske montaže sisteme su obično manje nego za transport i proizvodnju. Fizičke karakteristike i ergonomski zahtevi finalnih proizvoda svakako bih redukovale dimenzije montažnih radnih sistema

Poređenjem sistema za automatsku montažu i za transport možemo zaključiti da oba

imaju isti broj stanica, a da sistem za montažu finalnih proizvoda teži da bude fizički manji. Ovo bi takođe i redukovalo i cenu koštanja sistema.

Postoje različite metode koje se koriste u industriji da bi se izvršili montažni procesi. Razlikujemo sledeće metode:

- robotizovana montažna pojedinačna mesta (jedna ćelija),
- robotizovana montažna linija (višestruke ćelije),
- automatizovani montažni sistemi.

Postoje i robotizovane montažne linije (robotizovane protočne linije), koje se koriste u visokoproduktivnim situacijama gde se mali zadaci koji treba da se izvrši dodeljuje ćelijama u liniju.

Ključna prednost korišćenja robotizovanih montažnih linija je fleksibilnost rada. Roboti u montažnim procesima mogu da izvrše programirane varijacije u radnim ciklusima. **Razlikujemo sledeće proizvodne situacije u protočnim linijama**:

- **linija pojedinačnog modela** (specijalizovana linija za jedan proizvod),
- **linija serijskih modela** (dva i više modela sa proizvodnjom u serijama),
- **linija mešanih modela** (dva i više modela se istovremeno mešaju i proizvode na liniji).

14.1. Osnovi automatizovanih montažnih sistema

Automatska montaža finalnog proizvoda obavlja niz delimičnih radnji, kojim se kombinovanom ugradnjom više različitih komponenti formira finalni proizvod. Finalni proizvod može da bude konačan ili podsklop u većem proizvodu. Sklopovi finalnih proizvoda se sastoje se od osnovnih delova na koje su druge komponente dograđene. Komponente se obično pridružuju jedna po jedna, tako da se sklop kompletira progresivno.

Tipična automatska montaža sistema se sastoji od sledećih podsistema:

- jedna ili više radnih ćelija na kojima se realizuju pojedini postupci montaže;
- uređaji za dopunu koji dostavljaju pojedinačne komponente radnim ćelijama;
- sistem za rukovanje gotovim podsklopovima i sklopova.

U sistemimu za montažu sa jednom radnom stanicom, sistem za rukovanje se kreće od skladišta baznih delova do izlaza iz stanice. U sistemima sa više stanica, sistemi za transport delimično spajaju i okružuju skladišta između stanica.

Funkcije kontrole koje su potrebne u grupi automatizovanih mašina su iste kao u automatizovanim linijama za proizvodnju, a to su:

1. **delimična kontrola** (koordinacija delimičnih operacija u sistemu za prenos i saradnja sa radnim stanicama),

2. **bezbedno praćenje** (obezbeđuje da linija za proizvodnju ne radi sa nesigurnim operaterom), i
3. **kontrola kvaliteta** (završna kontrola i izdvajanje nekvalitetnih proizvoda sa proizvodne trake).

Razlikujemo sledeće tipove automatizovanih montažnih sistema:

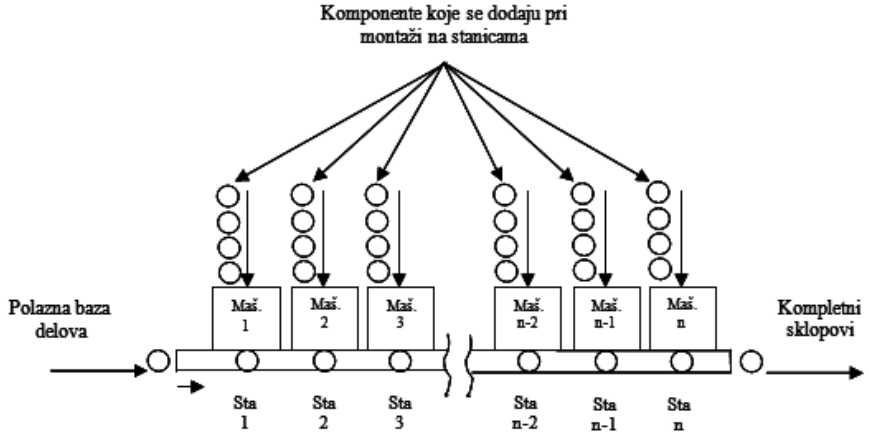
- neprekidnog transfera,
- sinhronog transfera,
- asinhronog transfera,
- stacionarnog osnovnog dela.

Prva tri tipa su opisani u delu vezanom za metode transporta radnih delova. Za sistem stacionarnog osnovnog dela, osnovni deo se smešta na fiksnu lokaciju gde ostaje za vreme montažnog rada.

14.2. Konfiguracija sistema za montažu

Automatizovani sistemi za montažu se mogu klasifikovati prema fizičkoj konfiguraciji. Principijalna konfiguracija je prikazana na slici 14.1. gde su:

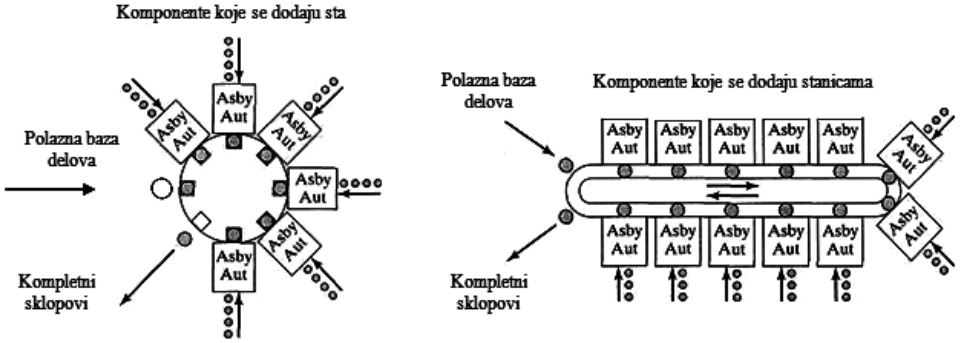
1. montažni sistem za sklapanje u liniji,
2. montažna mašina tipa brojčanika,
3. karuselski montažni sistem, i
4. montažna mašina pojedinačnog mesta za sklapanje.



Slika 14.1. *Montažni sistem za sklapanje u liniji*

Na slici 14.1. predstavljena je montažni sistem za sklapanje u liniji (*In-line assembly machine*). Sastavljena je serije automatskih ćelija lociranih duž jednog linijskog transfer sistema. Neprekidni, sinhroni ili asinhroni sistemi mogu biti upotrebljeni sa linijskom konfiguracijom.

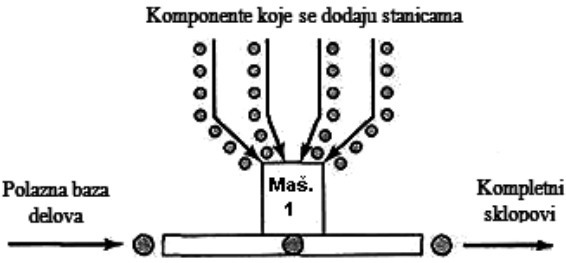
U primeni su mašina tipa brojčanika, predstavljeni na slici 14.2. Delovi iz skladišta (baze) se dovode na instalaciju transportne trake (postavljaju na uređaje u gnezda) koja su pridodata kružnom brojčaniku. Komponente se dodaju ili učvršćuju u raznim ćelijama lociranim oko periferija brojčanika. Brojčanička indeksirajuća mašina radi sa sinhronim ili prekidnim kretanjem, gde se ciklus sastoji od obradnog vremena plus indeksirajuće vreme. Ovakav modul se ponekad projektuje za neprekidan rad.



Slika 14.2. *Montažna mašina tipa brojčanika i karuselski montažni sistem*

Za sinhroni transport između radnih ćelija, idealno ciklusno vreme jednako je vremenu operacije na najsporijoj ćeliji plus vreme prenosa između ćelija. Proizvodni odnos, na 100% vremena ispravnog rada, je recipročna vrednost idealnog ciklusnog vremena.

Karusel (ringišpil) sistem za sklapanje (*Sarousel assembly system*), slika 14.2 predstavlja hibridni sistem između kružnog toka predmeta rada obezbeđenom od brojčaničke montažne mašine i linijskog toka predmeta rada. Ova konfiguracija može da prenosi predmete rada neprekidno, sinhrono ili asinhrono.



Slika 14.3. *Model jedne stanice za sklapanje*

U montažnoj mašini pojedinačnog mesta (*single-station assembly machine*) montažne operacije se izvršavaju na jednoj lokaciji (sistem stacionarnog osnovnog dela), slika

14.3. Tipične operacije su: postavljanje osnovnih elemenata na stacionarno mesto na radnoj ćeliji, dodavanje komponenata na osnovni element i uklanjanje gotovih sklopova sa radne stanice.

14.3. Dostavljanje montažnih delova radnim stanicama

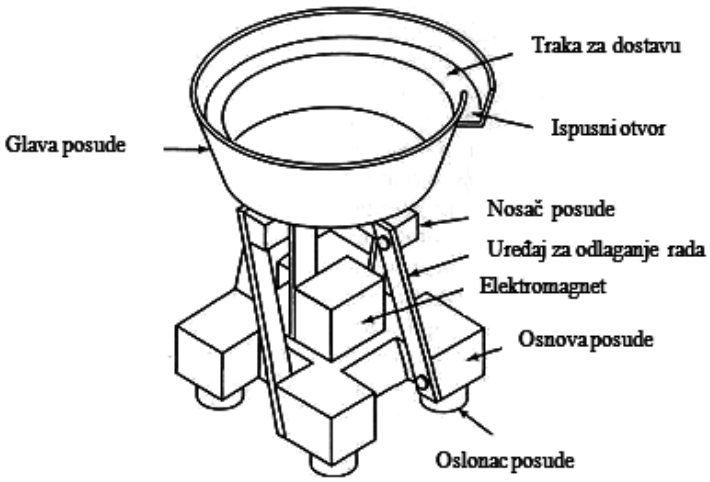
U svakoj od navedenih konfiguracija montažne radne stanice vrše jednu ili dve od sledećih radnji:

1. Dostavljanje i isporučivanje delova za montažu radnim stanicama i dodavanje na postojeću bazu dela (odnosi se na bazu delova koje se često deponuju u radni nosač),
2. Uključivanje u operacije koje se realizuju na stanici radi stalnog dodavanja delova između postojećih baza.

Dostavljanje montažnih delova sistema se obično sastoji od sledećih delova:

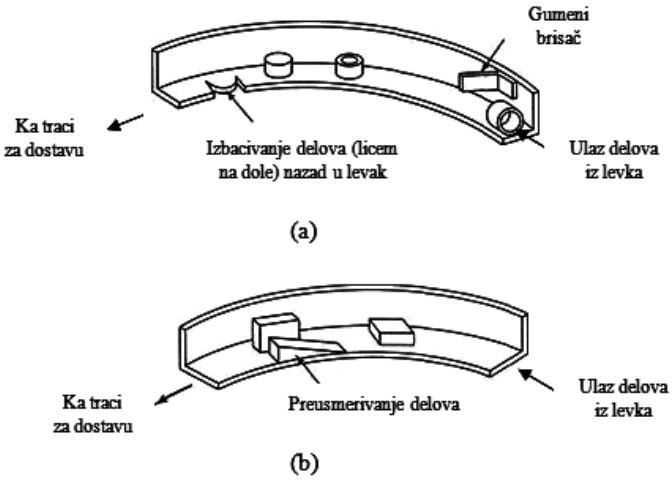
1. **Levak/bunker** (*hopper*) predstavlja kontejner pomoću koga se komponente učitavaju na radnim stanicama.
2. **Vod za dostavaljanje delova** (*parts feeder*) predstavalja mehanizam koji uklanja komponente sa levka jednu po jednu, dostavljajući ih na radni sto za montažu.

Na slici 14.4. je prikazana vibraciona posuda za snabdevanje delovima.



Slika 14.4. *Vibraciona posuda za snabdevanje delovima*

Uređaj za izbor i/ili usmerivač (*selector and/or orietor*) predstavljaju bitan element u sistemu dostavljanja, kao i uspostavljanje pripremne orijentacije svih delova za montažu. Neodgovarajuća pozicioniranja delova bi se manifestovalo vraćanjem ili odbacivanjem delova nazad u levak. Nekoliko birača i načina orentacije je prikazano na slici 14.5.



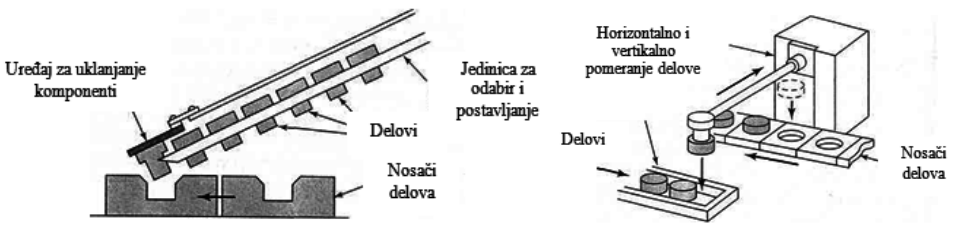
Slika 14.5. *(a) Uređaj za usmeravanje i (b) Preusmeravanje delova*

Traka za dostavljanje delova (*feed track*) predstavlja ključni element u sistemu za dostavljanje kao i preuzimanje delova sa montažnog stola. Postoje dve kategorija sistema za dostavljanje: gravitacija i napajanje.

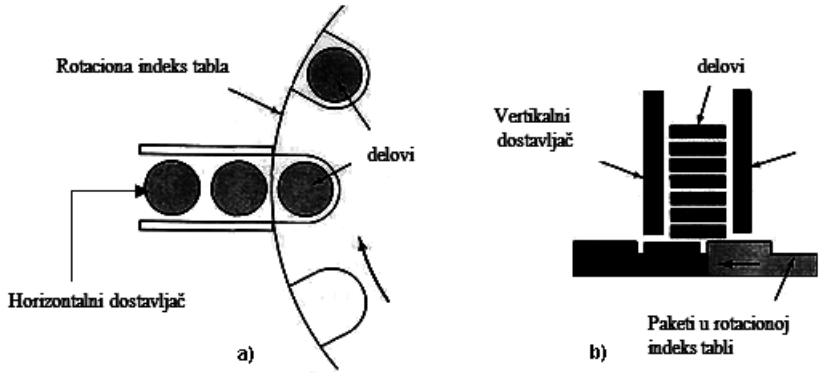
Gravitacija predstavlja najčešći oblik dostavljanja delova za montažu. Pri tome se koristi slobodni pad delova zbog uticaja zemljine teže. Levak i vod za dostavljanje delova su postavljeni iznad radnog stola za montažu.

Pri napajanju trake za dostavljanje delova koristi se vibraciona aktivnost uređaja, vazdušni pritisak ili veštački izazvana sila koja će primorati delove na kretanje duž trake ka radnom stolu za montažu.

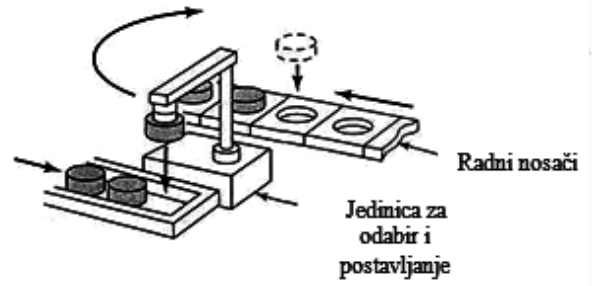
Uređaji za postavljanje i uklanjanje omogućuje dostavu delova za montažu na traku i sa trake u vremenskim intervalima. Ti vremenski intervali su u skladu sa ciklusnim vremenom montaže. Uređaj za postavaljanje, fizički postavlja delove u određenoj lokaciji na radnoj stanici za operacije montaže. Ovi elementi se ponekad kombinuju sa jedinstvenim operacionim mehanizmima. Dok u drugim slučajevima postoji dva odvojena uređaja. Nekoliko tipova uređaja za napajanje i postavljanje je prikazano na slikama 14.6 do 14.8.



Slika 14.6. *Napajanje oblikovanim delovima*

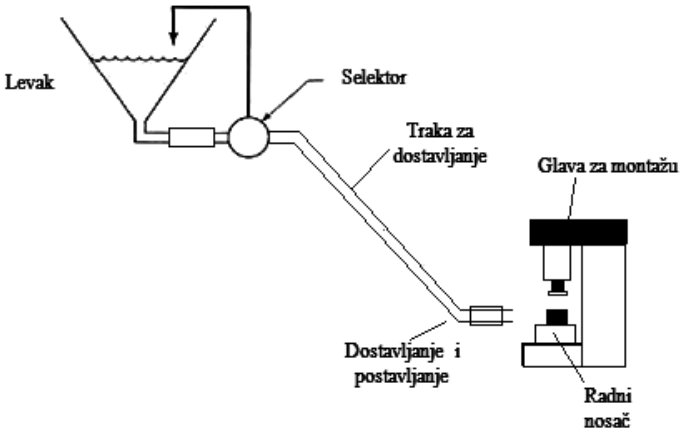


Slika 14.7. *Varijante uređaja za napajanje i postavljanje u automatskoj montaži sistema: (a) horizontalni uređaj;(b) vertikalni uređaj za postavljanje delova na indeksnu tablu*



Slika 14.8. *Mehanizam za odabir i postavljanje*

Na slici 14.9. dat je šematski prikaz tehnologije za dostavljanje delova do montažnog sistema.



Slika 14.9. *Elementi tehnologija za isporučivanje delova*

Nepravilno orijentisani delovi se vraćaju u levak, što ujedno predstavlja jedan vid kontrole i zaštite.

14.4. Matematički model sistema za montažu

Određeni aspekti rada automatskih sistema za montažu se mogu analizirati korišćenjem određenih matematičkih modela. Model za analizu polazi od osnovnih problema i poteškoća koji se mogu pojaviti u automatskoj montaži:

1. Sistem za dostavljanje delova ka radnim stanicama;
2. Multi-stanice za automatsku montažu sistema;
3. Samostalne ili jedinačne stanice za automatsku montažu sistema; i
4. Parcijalna ili delimična automatizacija.

14.4.1. Sistem za dostavljanje delova na radnim stanicama

Na slici 14.9. prikazan je mehanizam za pokretanje delova ima mogućnost uklanjanja delova iz levka izvesnom brzinom f. Pretpostavlja se da su na početku transporta delovi nasumično orjentisani pa je neophodno postaviti birač ili orjentir radi dodatne korekture i uspostvaljanja korektne orijentacije.

U slučaju birača, određeni procenat delova će biti ispravno orijentisan na početku i to će biti dovoljeno da prođu dalje. Preostali procenat delova koji su pogrešno orjentisani će biti odbijeni i vraćeni u spremište – levak.

U slučaju orjentira, pogrešno orjentisani delovi će biti preusmereni, što bi rezultiralo u idealnim uslovima, 100% prolazak delova u sistem.

Ako se uzme da je θ odnos zavisnosti komponenata koje prolaze kroz proces birač-orijentir i da su korektno orjentisani za isporučivanje delova na traku. Zbog toga je efektivna stopa isporuke za dostavljanje komponenti, od spremišta do trake $f\,\theta$. Preostali deo $(1-\theta)$ je vraćen nazad u spremište. Naravno, brzina isporuke $f\,\theta$ komponenata na radni deo mora da bude dovoljna da može da se nosi sa ciklusnom stopom mašine za montažu.

Ako predpostavimo da je stopa isporuke komonenata $f\,\theta$ veća od ciklusa koraka R_c mašine za montažu, sistem mora da ima sredstva kojim će se ograničavati veličina redova u traci za dovod. Uobičajeno rešenje je postavljanje senzora (na primer optički senzor) u blizini vrha trake za dostavljanje, sa kojim bi se isključio mehanizam za napajanje kada je traka za dostavljanje puna. Ovaj senzor se naziva senzor prvog nivoa i njegov položaj se definiše preko aktivne dužine trajanja L_{f_2} trake.

Kapacitet trake za dostavljanje (broj delova koji se može održati na traci) je izražen sledećom relacijom:

$$n_{f_2} = \frac{L_{f_2}}{L_c} \tag{14.1}$$

gde je:

- aktivna dužina trajanja trake L_{f_2},
- dužina komponenata na traci za dostavljanje L_c.

Dužina komponenata treba da se meri iz tačke dostavljanja komponente sa odgovarajućom tačkom na sledeću komponentu u redosledu. Cilj je sprečiti preklapanje istih delova.

Drugi senzor (drugi nivo) je postavljen duž trake za dostavljanje na istoj udaljenosti od prvog senzora. Senzor je namenjen za restartovanje mehanizama za napajanje. Ako bi smo utvrdili lokaciju ovog drugog senzora kao L_{f_1} tada bi kapacitet trake za dostavljanje bio prikazan sledećom relacijom:

$$n_{f_1} = \frac{L_{f_1}}{L_c} \tag{14.2}$$

Delovi na traci će biti redukovani kada se senzor prvog nivoa aktivira (isključivanje napajanja) R_c, što je u suštini ciklus koraka na radnim stolovima za automatsku montažu. U proseku, korak u kom će se količina delova povećati uključenjem senzora drugog nivoa (koji uključuje napajanje) je $f\,\theta - R_c$. Izmena koraka nije jednostavna zbog slučajnog karaktera operacije dostavljanja (biranje i usmeravanje). Shodno tome, vrednost n_{f_1} mora da bude dovoljno velika da praktično eliminiše mogućnost stvaranja zaliha nakon što senzor drugog nivoa uključi napajanje.

14.4.2. Multi-stanice za automatsku montažu sistema

U ovom delu će biti analizirane operacije i rad automatskih sistema za montažu koje poseduju nekoliko radnih stanica i koriste sinhroni prenosni sistem. Predpostavke vezane za sprovođenje analize su:

1. Operacije montaže na stanicama imaju konstantno pristno vreme kao bitan činilac. Vremena u radu nisu nužno jednaka na svim mestima,
2. Koristi se isti prenos delova; i
3. Ne postoji interni skladišni prostor.

Predpostavka je da se prosečne operacije na radnim stanicama automatskih sistema za montažu sastoje od operacija sa komponentama (delovima) koji se ugrađuju/dodaju postojećem sklopu. Postojeći sklopovi sastoje se od osnovnih delova plus komponenate montirane na prethodnoj stanici. Komponente koje se dodaju moraju biti čiste, jedinstvene u veličini i obliku, od visokog kvaliteta i dosledno orjentisana. Kada mehanizam za napajanje delovima i radni sto za montažu nameravaju da dodaju neku komponentu koja ne zadovoljava tehnički opis i zahteve, tada dolazi do ometanja stanica i stvaranja zastoja. Sistem za montažu se automatski gasi.

Oštećeni delovi koji dođu u proizvodnju sa određenim nedostacima kreću se u veličini q $(0 \leq q \leq 1,0)$. Pri montaži na radnim stanicama, q je verovatnoća da je komponenta koja je dodata tokom trenutnog proizvodnog ciklusa štetna. Pri dostavi i spajanju defektnog dela sa baznim delom, konstatovano je da nedostatak može i ne mora da prouzrokuje zastoj stanice.

Sa m ćemo obeležiti verovatoću gde će nedostatak rezultirati zastojem stanice i indirektnom obustavom linije.

U posebnoj radnoj stanici i, postoje tri događaja koji bi mogli da se dese kada mehanizam za dostavljanje delovima snabdeva narednom komponentom a uređaj za montažu realizuje montažu. Mogući događaji na radnoj stanici i su sledeći.

1. **Komponenta je neispravna i prouzrokuje zastoj na radnoj stanici**:
   - q_i – defektna komponenta izaziva nedostatak delova na stanici,
   - m_i – mogućnost da je neispravnost prouzrokovala zastoj stanice.

$$p_i = m_i\, q_i \tag{14.3}$$

2. **Komponenta je neispravna, ali ne prouzrokuje zastoj stanice**:
   - $(1 - m_i)\, q_i$ – verovatnoća kada prilikom dogradnje defektnog dela ceo sklop postaje neispravan.
3. **Komponenta je ispravna**:
   - Poželjan ishod sa velikom verovatnoćom da se desi. Verovatnoća da deo dodat na radnoj stanicu za montažu nije defektan i da je jednak broju dobrih delova, $(1 - q_i)$.

Verovatna su tri moguća događaja koji se mogu izraziti relacijom:

$$m_i\, q_i + (1 - m_i)\, q_i + (1 - q_i) = 1 \tag{14.4}$$

Za specijalan slučaj gde je $m_i = m$ i $q_i = q$ za sve radne stanice, jednačina se reducira u sledeću:

$$m\, q + (1 - m)\, q + (1 - q) = 1 \tag{14.5}$$

Da bi se odredila kompletna raspodela mogućih ishoda koji mogu da se pojave na n-stanica mašine za montažu, jednačina (14.4) se množi za sve n-stanice i to:

$$\prod_{i=1}^{n} [m_i\, q_i + (1 - m_i)\, q_i + (1 - q_i)] = 1 \tag{14.6}$$

Za specijalan slučaj gde je $m_i = m$ i $q_i = q$ za sve stanice, i jednačina se reducira u sledeću:

$$[m\, q + (1 - m)\, q + (1 - q)]^n = 1 \tag{14.7}$$

Karakteristike performansi. Jedna od bitnih karakterisitika pri montaži je da je da je uobičajeno mali procenat montaže sadrži bar jednu ili više neispravnih komponenata. Dva od tri uslova u jednačini (14.6) predstavljaju događaje za koje oštećen deo nije dostavljen konkretnoj radnoj stanici. Uzimajući u obzir verovatnoće za sve stanice, dobijamo odnos (proporciju) prihvatljivih dobro montiranih proizvoda koji dolaze sa linije

$$P_{ap} = \prod_{i=1}^{n} (1 - q_i + m_i\, q_i) \tag{14.8}$$

Ako P_{ap} predstavlja odnos dobrih montiranih sklopova, tada je deo sklopova koji sadrži najmanje jednu neispravnu komponentu dat relacijom:

$$P_{qp} = 1 - P_{ap} = 1 - \prod_{i=1}^{n}(1 - q_i + m_i\, q_i) \tag{14.9}$$

U slučaju jednakosti m_i i q_i, ove dve jednačine postaju:

$$P_{ap} = (1 - q + m\, q)^n \tag{14.10}$$

$$P_{qp} = 1 - (1 - q + m\, q)^n \tag{14.11}$$

Posebne veličine rada koje se analiziraju su: proizvodni odnos mašina, procenat vremena pravilnog rada i neproduktivnog vremena i prosečna cena po jedinici proizvodnje.

Da bi smo izračunali proizvodni odnos, prvo mora da se odredi učestalost pojave neproduktivnog vremena po ciklusu F. Ako svaka radna stanica stane zbog pojave neproduktivnosti, F će se odrediti uzimanjem očekujućeg broja zastoja na stanicama po ciklusu, i to:

$$F = \sum_{i=1}^{n} p_i = \sum_{i=1}^{n} m_i\, q_i \tag{14.12}$$

U slučaju da radna stanica obavlja samo operacije pridruživanja ili učvršćivanja ali ne dodavanja delova na stanicu, tada doprinos F od strane radnih stanica p_i, predstavlja verovatnoću prekida rada stanice, gde p_i ne zavisi od m_i i q_i.

Ako je $m_i = m$ i $q_i = q$ za sve stanice, $i = 1, 2, \ldots, n$, tada se jednačine (14.11) redukuju u sledeću:

$$F = n\, m\, q \tag{14.13}$$

Prosečno aktualno vreme proizvodnje po sklopu je dato relacijom

$$T_p = T_c + \sum_{i=1}^{n} m_i\, q_i\, T_d \tag{14.14}$$

gde je:

- T_c – idealno ciklusno proizvodno vreme mašine za montažu, koje je predstavlja najduže montažno vreme plus indeksiranje ili vreme transporta, min;
- T_d – prosečno neproduktivno vreme, min.

U slučaju jednakosti m_i i q_i,

$$T_p = T_c + n\, m\, q\, T_d \tag{14.15}$$

Od proseka aktuelnog vremena proizvodnje, možemo izvesti proizvodni odnos, koji je recipročan vremenu proizvodnje:

$$R_p = \frac{1}{T_p} \tag{14.16}$$

Rad mašina za montažu se razlikuje od mašina za obradu. Pri montaži, osim ukoliko $m_i = 1.0$ za sve radne stanice, na izlazu će se pojaviti finalni montirani sklopovi sa jednom ili više neispravnih komponenata. U skladu s tim, proizvodna stopa se mora korigovati samo na prihvatljive finalne proizvode koji ne sadrže nedostatke.

Primenom P_{ap} u proizvodnoj stopi ispravnih (prihvatljivih) proizvodna dobija se odnos:

$$R_{ap} = P_{ap}\, R_p = \frac{P_{ap}}{T_p} = \frac{\prod_{i=1}^{n}(1 - q_i + m_i\, q_i)}{T_p} \tag{14.17}$$

gde je:

- R_{ap} – proizvodna stopa za prihvatljiv proizvod, $broj\ delova/min$,

Kada su svi m_i jednaki i svi q_i jednaki, tada je odgovarajuća jednačina

$$R_{ap} = P_{ap}\, R_p = \frac{P_{ap}}{T_p} = \frac{(1 - q + m\, q)^n}{T_p} \tag{14.18}$$

Jednačine (14.16) i (14.17) daju proizvodnu stopu za samo dobre proizvode.

Efikasnost vremena se računa kao odnos koeficienta idealnog ciklusnog vremena proizvodnje i proseka aktuelnog vremena proizvodnje.

$$E = \frac{R_p}{R_c} = \frac{T_c}{T_p} \tag{14.19}$$

gde je:

- T_p – aktuelno vreme proizvodnje je proračunato na osnovu jednačine (14.13) i (14.14). Neproduktivno vreme se računa na osnovu jednačine $D = 1 - E$.

Sa druge strane, pri razmatranju cene koštanja gotovog proizvoda mora da se uzme u obzir i kvalitet. Generalno jednačina bi glasila

$$C_{pc} = \frac{C_m + C_o\, T_p + C_t}{P_{ap}} \tag{14.20}$$

gde je:

- C_{pc} – cena koštanja dobrog sklopa, $cena/deo$;
- C_m – cena materijala, koja uključuje cenu osnove za montažu (baze budućeg sklopa) plus komponente koje se dodaju, $cena/deo$;
- C_o – operativni troškovi u sistemu montaže, $cena/min$;
- T_p – prosečno aktuelno vreme proizvodnje, min/deo;
- C_t – troškovi alatne obrade, $cena/deo$; i
- P_{ap} – odnos dobro prihvatljivih montiranih sklopova (jednačine 14.8).

14.4.3. Samostalne radne stanice za automatsku montažu sistema

Obeležimo sa n_e broj različitih elemenata koji se sklapaju na mašinama. Za svaki element je je potrebno vreme za sklapanje u ukupnom vremenu T_{ej}, gde je $i = 1, 2, \ldots, n_e$. Idealno ciklusno radno vreme samostalne (jedinačne) radne stanice za automatsku montažu predstavlja sumu individualnih elementarnih vremena montažnih operacija koje treba da se izvrše na mašinama, uključujući vreme utovara osnove dela na odgovarajuću poziciju i istovar kompletnih sklopova. Idealno ciklusno radno vreme se može izraziti kao

$$T_c = T_h + \sum_{j=1}^{n_e} T_{ej} \tag{14.21}$$

gde je:

- T_h – vreme utovara, min.

Završni proizvod je dobijen kroz brojne operacije montaže delova i podsklopova. Montaža podrazumeva dodavanje komponenata na podstojeći bazni deo. Postoji realna mogućnost neke od komponenta imaju izvestan broj nedostataka q_j. Zastoj radne stanice, m_j je realna posledica pojave neispravnih komponenata na traci za montažu. Kada dođe do zastoja, mašine za montažu će stati, a potrebno je prosečno vreme T_d za otklanjanje zastoja i restartovanje sistema. Uključivanje neproduktivnog vremena, koje proističe iz zastoja ciklusnog vremena mašina, i to nam daje

$$T_p = T_c + \sum_{j=1}^{n_e} q_j \, m_j \, T_d \tag{14.22}$$

Za elemente koji na kojim se ne dodaju komponenata, vrednost $q_j = 0$ i m_j nije od velike važnosti. U ovakvom tipu operacije, termin $p_j \, T_d$ bi se uključio u gore navedenom izrazu da dozvoli vreme zastoja u tom elementu, gde je p_j verovatnoća da radna stanica nije uspela tokom elementa j. U specijalnom slučaju gde je q jednako m vrednost za sve komponente i jednačina (14.21) bi bila

$$T_p = T_c + n \, m \, q \, T_d \tag{14.23}$$

Efikasnosti vremena se izračunava primenom jednačine

$$E = \frac{T_c}{T_p}$$

koristeći vrednosti T_c i T_p iz jednačina (14.21) i (14.22) ili (14.23).

14.4.4. Parcijalna ili delimična automatizacija

Brojne montažne linije u industriji sadrže kombinaciju automatskih i ručno vođenih radnih stanica. Ovi slučajevi delimično automatizovane proizvodne linije se događaju iz dva razloga:

- automatizacija se uvodi postepeno na postojeću liniju, i
- određene operacije su suviše teške ili previše skupe za automatizaciju .

Primeri nekih operacija koje bi mogle da bude suviše teške za automatizaciju su procedure i postupci montaže koji su uključivali grubo podešavanje, prilagođavanje i fino podešavanje u radu jedinice. Ovakve operacije često zahtevaju posebna znanja i veštine.

Da bi smo analizirali performanse delimično automatizovane proizvodne linije, ona će se bazirati na prethodnim analizama na osnovu kojih će se dati sledeće predpostavke:

- radne stanice obavljaju ili obradu ili operacije montaže,
- obrada ili vreme montaže na automatizovanim stanicama je konstantno, iako ne mora biti nužno jednako za sve stanice,
- sistem koristi istovremen (sinhroni) prenos delova,
- sistem nema internu radnu memoriju za prihvat,
- zastoj na stanicama se prouzrokuje samo na automatizovanim stanicama.

Zastoji se ne dešavaju na stanicama sa ručnim upravljanjem iz razloga što je ljudska radna snaga toliko fleksibilna, sa određenom predpostavkom, da se prilagode vrstama poremećaja i kvarova koje bi prekinule rad automatizovane stanice.

Idealno ciklusno vreme se određuje preko najsporije radne stanice na liniji, što bi generalno značilo da je to stanica sa ručnim upravljanjem. Ciklusno vreme će se poseduje određen stepenom promenljivosti.

Prosečno vreme proizvodnje je dato jednačinom

$$T_p = T_c + \sum_{i \in n_a} p_i \, T_d \tag{14.24}$$

Za sve one automatizovane radne stanice koje izvršavaju operacije montaže na kojima su dodaju neke komponente

$$p_i = m_i \, q_i$$

Ako su svi p_i, m_i i q_i jednaki, respektivno ka p, m i q, tada će jednačina biti reducirana kao

$$T_p = T_c + n_a \, p \, T_d \tag{14.25}$$

i

$$p = m \, q$$

za sve stanice koje izvršavaju montažu sa dodavanjem delova.

Trebalo bi obratiti pažnju da je:

- n_a – broj automatskih stanica,
- n_w – broj stanica sa operaterima (radnicima),

- $n_a + n_w = n$ – ukupan broj stanica.

Ukupna cena za linijsku operaciju bi se dobila preko jednačine

$$C_o = C_{at} + \sum_{i \in n_a} C_{asi} + \sum_{i \in n_w} C_{wi} \tag{14.26}$$

gde je:

- C_{at} – cena operacije automatskog mehanizma za prenošenje;
- C_{asi} – cena operacije automatske radne stanice i, $cena/min$;
- C_{wi} – cena operacije na stanicama sa ručnim upravljanjem i, $cena/min$;
- C_o – cena operacije delimične automatizovanog sistema, $cena/min$.

Ako bi $C_{asi} = C_{as}$ i $C_{wi} = C_w$, tada bi

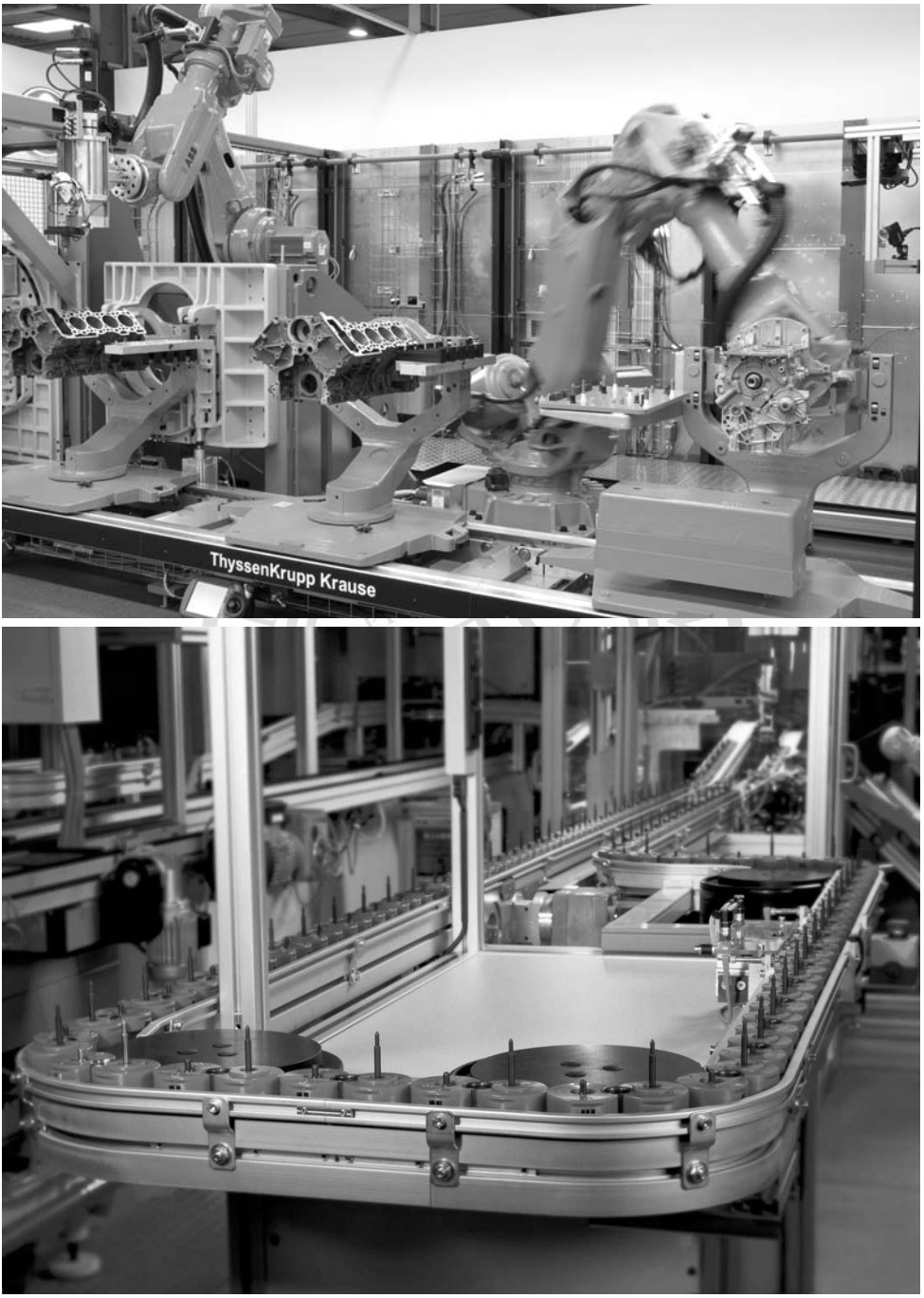
$$C_o = C_{at} + n_a C_{as} + n_w C_w \tag{14.27}$$

Ukupni troškovi po jedinici pravilno sklopljenog dela dobijen sa linije, obračunavaju se sledećom jednačinom

$$C_{pc} = \frac{C_m + C_o T_p + C_t}{P_{ap}} \tag{14.28}$$

gde je:

- C_{pc} – cena po jedinici dobrog sklopa, $cena/deo$;
- C_m – cena materijala, koja uključuje cenu osnovnog dela (baze dela) plus komponente koje se dodaju, $cena/deo$;
- C_o – operativni troškovi u sistemu montaže (14.26), $cena/min$;
- T_p – prosečno aktuelno vreme proizvodnje, min/deo;
- C_t – troškovi alatne obrade, $cena/deo$; i
- P_{ap} – srazmernost dobrih sklopova prema jednačinama (14.8) i (14.10).

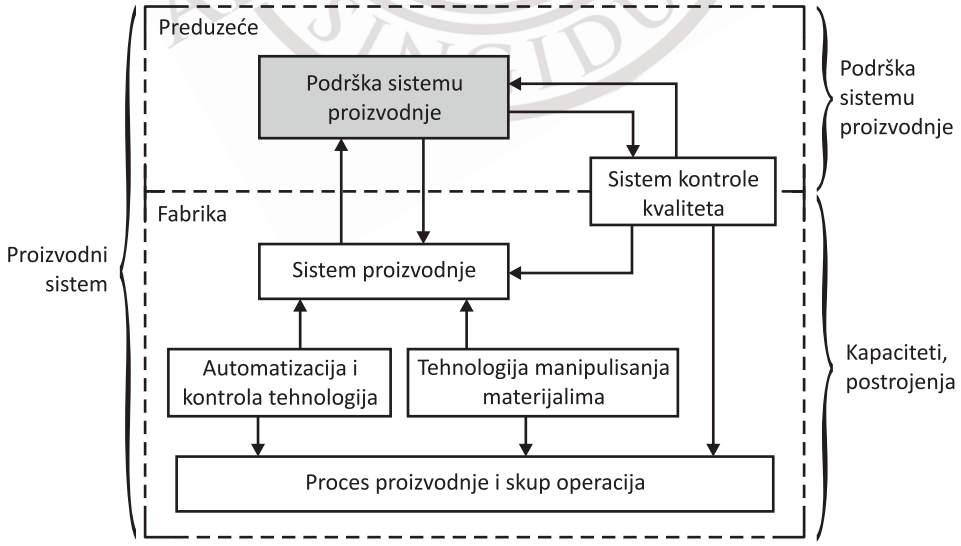


Slika 14.10. *Fleksibilni montažni sistemi*

Glava 15

Dizajn proizvoda i CAD/CAM u proizvodnom sistemu

Ovaj deo knjige se bavi sistemima podrške proizvodnji koji rade na nivou preduzeća, kao što je prikazano na slici 15.1. Sistemi za podršku proizvodnji su procedure i sistemi koji se koriste od strane preduzeća za upravljanje proizvodnjom i za rešavanje tehničkih i logističkih problema u vezi sa dizajniranjem proizvoda, planiranjem procesa, naručivanjem materijala, kontrolom radnog procese, kao i transportom kroz postrojenja i isporukom proizvoda kupcima. Mnoge od ovih funkcija mogu biti automatizovane korišćenjem računarskih sistema, kao što sugerišu termini `CAD` (*Computer Aided Design*) i `CIM` (*Computer Integrated Manufactuirng*). Dok se većina prethodnih diskusija o automatizaciji fokusirala na tok fizičkog proizvoda kroz fabriku, nivo preduzeća se više bavi tokom informacija u fabrici i širom firme.



Slika 15.1. *Podrška sistemu proizvodnje u proizvodnom sistemu*

Ovo poglavlju se bavi dizajnom proizvoda i različitim tehnologijama koje se koriste da povećaju i automatizuju funkcije dizajna. CAD/CAM (dizajn uz pomoć računara i proizvodnja uz pomoć računara) je jedna od tih tehnologija. Ona koristi digitalni računar da bi se postigle određene funkcije u dizajnu proizvoda i proizvodnji. CAD koristi računar za podršku funkcijama inženjerskog projektovanja, dok CAM koristi računar da podrži inženjerske proizvodne aktivnosti. Kombinacija CAD/CAM predstavlja simbol naporima da se integrišu funkcije projektovanja i proizvodnje firme u kontinualnim aktivnostima, umesto da se tretiraju kao dve odvojene i različite aktivnosti, kao što se to posmatralo u prošlosti. CIM (računarski integrisana proizvodnja) obuhvata sve od CAD/CAM okruženja, a takođe obuhvata i poslovne funkcije proizvodne firme. CIM sprovodi računarske tehnologije u svim operativnim aktivnostima po pitanju obrade informacija i same proizvodnje.

15.1. Dizajn proizvoda i CAD

Dizajn proizvoda je kritična funkcija u proizvodnom sistemu. Kvalitet dizajna proizvoda (tj. koliko dobro odeljenje za dizajn radi svoj posao) je verovatno jedan od najvažnijih faktora u određivanju komercijalnog uspeha i društvene vrednosti proizvoda. Ako je dizajn proizvoda loš, bez obzira koliko dobro je proizveden, proizvod je, verovatno, osuđen da doprinese vrlo malo dobiti i dobrobit firmi koja ga je proizvela. Ako je dizajn proizvoda dobar, i dalje postoji pitanje da li proizvod može biti proizveden po dovoljno niskim cenama kako bi doprineo profitu i uspehu kompanije. Jedna od činjenica po pitanju života samog dizajna proizvoda je ta da je vrlo značajan deo troškova oko proizvoda određen upravo njegovim dizajnom. Dizajn i proizvodnja ne mogu biti odvojeni u proizvodnom sistemu. Oni su zajedno povezani funkcionalno, tehnološki i ekonomski.

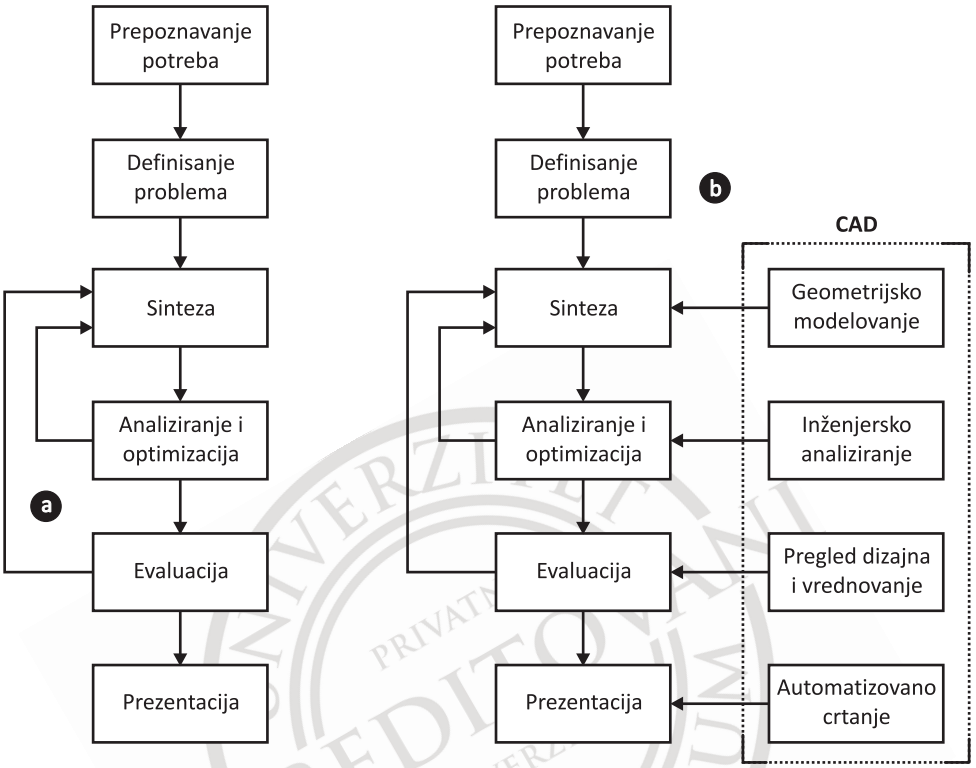
15.1.1. Proces dizajna, tj. projektovanja

Opšti proces dizajna se karakteriše kao iterativni proces koji se sastoji od šest faza: (1) prepoznavanje potrebe, (2) definisanje problema, (3) sinteza, (4) analiza i optimizacija, (5) procena i (6) prezentacija. Ovih šest koraka, kao i iterativne sekvence u kojima se vrše, prikazani su na slici 15.2a.

Prepoznavanje potreba (1) podrazumeva realizaciju da neki problem postoji kako bi ga definisani dizajn rešio. Ovo prepoznavanje može da znači identifikovanje nekog nedostatka u trenutnom dizajnu mašine od strane inženjera ili opažanje neke nove karaktersitike proizvoda od strane prodavca.

Definicija problema (2) uključuje detaljnu specifikaciju stavke koja bi trebalo da se dizajnira i ona uključuje fizičke karakteristike, cene, funkcije, kvalitet i performanse rada.

Sinteza (3) i **analize** (4) su u veoma bliskoj i interaktivnoj vezi. Ako se razmisli o razvoju određenog dizajna proizvoda, onda svaki od podsistema proizvoda mora biti osmišljen od strane dizajnera, analiziran, poboljšan kroz proceduru analize, redizajniran, analiziran opet itd. Proces se ponavlja sve dok dizajn ne bude optimizovan u okviru ograničenja koje je nametnuo dizajner. Pojedinačne komponente su, onda, sintetizovane i analizirane unutar finalnog proizvoda, na sličan način.



Slika 15.2. *(a) "Klasičan" dizajn proizvoda; (b) dizajn proizvoda uz pomoć računara*

Procena ili **evaluacija** (5) se bavi merenjem dizajna u odnosu na postavljene specifikacije u fazi definisanja problema. Ova evaluacija, često, zahteva izradu i testiranje prototipa modela u cilju procene operativnih performansi, kvaliteta, pouzdanosti i drugih kriterijuma.

Finalna faza u proceduri dizajna je **prezentacija** (6) samog dizajna. Prezentacija se bavi dokumentovanjem dizajna putem crteža, specifikacija materijala, liste materijala itd. U suštini, dokumentacija znači da baza podataka, po pitanju dizajna, kreirana.

15.1.2. Računarske aplikacije u dizajnu

Projektovanje pomoću računara (CAD) je definisano kao bilo koja aktivnost dizajna (projektovanja) koja podrazumeva efikasnu upotrebu računara za kreiranje, modifikovanje, analiziranje ili dokumentovanje inženjerskog dizajna (projekta). CAD je najčešće povezan sa korišćenjem interaktivnih grafičkih računarskih sistema, koji se nazivaju CAD sistemi. Termin CAD/CAM sistem se koristi ako obuhvata i proizvodnju, kao i dizajn. Kompanije koriste CAD sisteme kako bi iskoristile sledeće pogodnosti:

- Povećana produktivnost dizajna. Upotreba CAD-a pomaže dizajneru da konceptualizuje proizvod i njegove komponente, što zauzvrat smanjuje vreme koje je potrebno dizajneru za sintezu, analizu i dokumentovanje dizajna.

- Povećana dostupnost geometrijskih formi u dizajnu. CAD omogućava dizajneru da izabere između širokog spektra oblika, kao što su matematički definisane konture, pretvaranje jednog oblika u drugi i sličnih oblika koji će biti teško ostvariti ručnim tehnikama.

- Poboljšan kvalitet dizajna. Upotreba CAD sistema sa odgovarajućim hardverom i softverom dozvoljava dizajneru da uradi kompletne inženjerske analize i da razmotri veći broj i raznovrsnije alternative dizajna. Na ovaj način kvalitet dizajna je poboljšan.

- Poboljšana projektna dokumentacija. Grafički izlaz iz CAD sistema rezultira boljom dokumentacijom dizajna, nego da se radi ručno. Inženjerski crteži su vrhunski, sa više standardizacije između crteža, manje grešaka izrade i sa većom čitljivošću. Pored toga, većina CAD paketa pruža automatsko dokumentovanje promena u dizajnu, koje obuhvata podatke o tome ko je napravio promene, kao i kada i zašto je bilo promena.

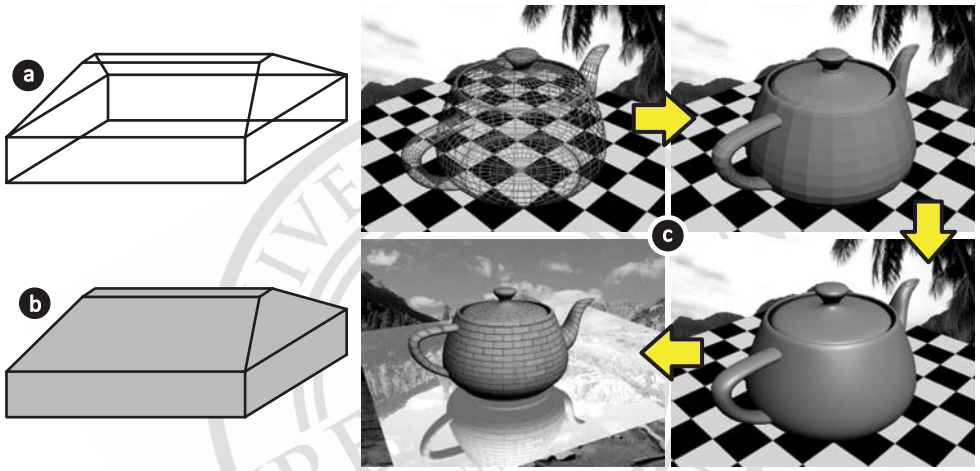
- Stvaranje proizvodne baze podataka. U procesu stvaranja dokumentacije za dizajn proizvoda (geometrijske specifikacija proizvoda, dimenzije komponenti, specifikacije materijala, količine materijala itd.), takođe se stvara i veliki deo traženih baza podataka za izradu proizvoda.

- Standardizacija dizajna. Pravila dizajna mogu biti uključena u CAD softver u cilju podsticanja dizajnera da koristi navedene modele kompanije za određene karakteristike dizajna (na primer, da se ograniči broj različitih veličina rupa koji se može koristiti u dizajnu). Ovo pojednostavljuje postupak specifikacija rupa za projektanta i smanjuje broj različitih burgija koji mora biti popisan u proizvodnji.

Izlaz iz kreativnog procesa projektovanja uključuje ogromne količine podataka koje moraju biti uskladištene i kojima mora da se upravlja. Ove funkcije se često postižu u moderniim CAD sistemima pomoću modula za **upravljanje podacima o proizvodima**. Sistem za upravljanje podacima o proizvodima (*Product Data Management* – PDM) sastoji se od računarskog softver koji obezbeđuje veze između korisnika (na primer, dizajnera) i centralne baze podataka. Baze podataka sadrže podatke o inženjerskom dizajnu, kao što su geometrijski modeli, proizvodne strukture (na primer, lista potrebnog materijala), kao i prateću dokumentaciju. Softver, takođe, upravlja bazom podataka praćenjem identiteta korisnika, dokumentovanjem inženjerskih promena, snimanjem istorije inženjerskih promena na svakom delu i proizvodu, kao i pružanjem sličnih dokumentovanih funkcija.

Geometrijsko modelovanje. Geometrijsko modelovanje podrazumeva korišćenje CAD sistema kako bi se razvili matematički opisi geometrije objekta. Matematički opis, koji se zove geometrijski model se nalazi u memoriji računara. Ovo dozvoljava korisniku CAD sistema da prikazuje slike modela na grafičkom terminalu (monitoru) i da obavlja određene operacije na modelu. Ove operacije obuhvataju stvaranje novog geometrijskog modela iz osnovnih gradivnih blokova dostupnih u sistemu, pomeranje slike okolo po monitoru, zumiranje nekih elemenata ili renderovanje slike itd. Ove mogućnosti dozvoljavaju dizajneru da izgradi model novog proizvoda (ili njegove komponente) ili da izmeni postojeći model.

Postoje razne vrste geometrijskih modela koji se koriste u CAD sistemima. Jedna klasifikacija razlikuje dvodimenzionalni (2D) i trodimenzionalni (3D) model. Dvodimenzionalne modele je najbolje koristiti za projektovanje problema, kao što su ravanski objekti i rasporedi zgrada. U prvim CAD sistemima razvijenim u ranim 1970-im, 2D sistemi su, uglavnom, koristili sisteme za automatizovanu izradu crteža. Takva varijanta se često koristi i za 3D objekte, a prepušteno je dizajnerimaa ili crtačima da pravilno izgrade različite poglede na objekat. Trodimenzionalni CAD sistemi su sposobni za modeliranje objekta u tri dimenzije u skladu sa uputstvima za upotrebu. Ovo je korisno u konceptualizovanju objekata, jer pravi 3D model može da se prikaže u različitim pogledima i iz različitih uglova.



Slika 15.3. *(a) Žičani model; (b) površinski model; (c) prikaz čajnika od žičanog modela, preko površinskog modela i dodeljivanja tekstura, do završnog rendera*

Geometrijski model u CAD-u može biti klasifikovan kao žičani modela ili kao solid ili kruto telo. Žičani model koristi povezivanje linija (pravolinijskih segmenata), da prikaže objekat kao što je prikazano na slici 15.3a. Žičani model složenije geometrije može biti pomalo zbunjujuć, jer su sve linije, koje opisuju oblik objekta, vidljive, uključujući i linije koje predstavljaju drugu (zadnju, nevidljivu) stranu objekta. Dostupne su tehnike za uklanjanje ovih, takozvanih, skrivenih (nevidljivih) linija, ali čak i sa ovim poboljšanjem, žičani model unosi i dalje određenu dozu konfuzije. Kada je reč o solidima, slika 15.3b, objekat je modelovan u tri dimenzije, pružajući korisniku viziju objekta koji je sličan načinu kako bi se video u stvarnom životu. Što je još važnije za inženjere, geometrijski model čuva u CAD sistemima kao 3D solid, obezbeđujući preciznije predstavljanje objekta. Ovo je korisno za izračunavanje masenih svojstava, u sklopu pri montaži može da se izvrši provera interferencija između komponenti, kao i za druge inženjerske proračune.

Dve druge karaktersitike modela u CAD sistemima su boje i animacija. Primena boja je u velikoj meri poboljšava sposobnost korisnika da zamisli objekat na monitoru. Na primer, različite komponente sklopa mogu biti prikazane u različitim bojama, dozvoljavajući na taj način da se svi delovi lakše razlikuju. Sposobnost animacije omogućava funkcionisanje mehanizama i drugih pokretnih objekata koji će biti prikazani na grafičkom monitoru.

Inženjerske analize. Nakon razvijenih određenih alternativnih dizajna, neki oblik inženjerskih analiza često mora da se sprovodi kao deo procesa projektovanja. Analiza može biti u obliku kalkulacije napona, analize prenosa toplote ili dinamičke simulacije. Proračuni su često složeni i vremenski zahtevni, tako da su pre pojave digitalnih računara ove analize, obično, znatno pojednostavljene ili čak i izostavljene u postupku dizajna. Dostupnost softvera za inženjerske analize u CAD sistemima u velikoj meri povećava mogućnost dizajnera i njegovu spremnost da se vrše temeljne analize predloženog dizajna. Termin računarom podržano inženjerstvo (*Computer Aided Engineering* – CAE) se često koristi za inženjerske analize obavljene od strane računara. Primeri softvera za inženjerske analize, koji su u opštoj upotrebi u CAD sistemima, uključuju:

- Analize masenih karakteristika. Ovo podrazumeva izračunavanje takvih karakteristika solida kao što su njihova zapremina, površina, masa i težište. To važi naročito u dizajnu mašinskih delova. Pre pojave CAD sistema, određivanje ovih osobina je, često, zahtevalo mukotrpne i dugotrajne kalkulacije od strane dizajnera.

- Provera interferencije. Ovaj CAD softver se bavi geometrijom 3D modela koji se sastoje od više komponenti i omogućava identifikovanje smetnji između komponenti. To je izuzetno korisno u analizi mašinskih sklopova, hemijskih postrojenja i sličnih višekomponentnih dizajna.

- Analiza tolerancija. Softver za analizu tolerancija navedenih komponenti proizvoda se koristi (1) da proceni kako tolerancije utiču na funkcije proizvoda i performanse, (2) da se utvrdi koliko tolerancije mogu uticati na jednostavnost ili tešku montažu proizvoda i (3) da se proceni kako razlike u dimenzijama komponenti utiču na ukupnu veličinu sklopa.

- Metoda konačnih elemenata. Softver za analizu konačnim elementima (*Finite Element Analysis* – FEA), takođe poznat kao modelovanje metodom konačnih elemenata (MKE), je dostupan za korišćenje u CAD sistemima za napone, prenos toplote, protok fluida, kao i druge inženjerske proračune. Metoda konačnih elemenata (MKE) je numerička tehnika analize za određivanje približnih rešenja za fizičke probleme koji su opisani diferencijalnim jednačinama, koje je veoma teško ili nemoguće rešiti. U MKE fizički objekat je oblikovan kao skup međusobno povezanih diskretnih čvorova (konačnih elemenata), kao i promenljivih od interesa (na primer, napon, pritisak, temperatura), koji se u svakom čvoru mogu opisati relativno jednostavnim matematičkim jednačinama. Rešavanje jednačine za svaki čvor omogućava distribuciju vrednosti promenljive "kroz" fizički objekat.

- Kinematska i dinamička analiza. Kinematska analiza studira rad mehaničkih veza i analizira njihovo kretanje. Tipična kinematska analiza određuje kretanje jednog ili više članova povezanih elemenata, a rezultujuće kretanje drugih veza se određuje u sveukupnoj analizi. Dinamička analiza proširuje kinematsku, uključujući efekte mase svakog povezanog člana i rezultujuće sile ubrzanja, kao i bilo koje primenjene spoljne sile.

- Simulacija diskretnih događaja. Ovaj tip simulacija se koristi za modelovanje složenih operativnih sistema, kao što su proizvodna ćelija ili sistem za rukovanje materijalom, kao događaja koji se dešavaju u diskretnim trenucima u vremenu i utiču na status i performanse sistema. Na primer, diskretni događaji u radu proizvodnih ćelija uključuju delove koji dolaze za preradu ili kvar mašine u ćeliji. Merenje stanja i performansi obuhvataju status date mašine u ćeliji (slobodna ili zauzeta), kao i ukupnu stopu proizvodnje ćelije. Softver za tekuću simulaciju diskretnih događaja obično sadrži animiranu grafiku koja poboljšava sposobnost vizualizacije rada sistema.

Evaluacija (procena) dizajna i pregled. Evaluacija dizajna i procedure revizije mogu biti prošireni unutar CAD-a. Neke od CAD funkcija koje su korisne u proceni i razmatranju predloženog dizajna uključuju:

- Automatsko dimenzionisanje. Ove rutine utvrđuju preciznu udaljenost između površina na geometrijskom modelu identifikovanim od strane korisnika.
- Provera grešaka. Ovaj termin se odnosi na CAD algoritme koji se koriste za reviziju tačnosti i konzistentnosti dimenzija i tolerancija i za procenu da li je odgovarajući format projektne dokumentacije.
- Animacija simulacionih rešenje diskretnih događaja. Simulacija diskretnih događaja je pomenuta u kontekstu inženjerskih analiza. Prikazano simulaciono rešenje diskretnih događaja kroz animiranu grafiku je korisno sredstvo predstavljanja i ocenjivanja rešenja. Ulazni parametri, raspodeljeni po nekoj verovatnoći, kao i drugi faktori mogu da se promene kako bi se procenio njihov uticaj na performanse sistema koji se modeluje.
- Ocena dizajniranog izgleda fabrike. Određeni broj softverskih paketa je dostupan za projektovanje objekata, tj. projektovanje i fizički izgled tlocrta i raspored opreme u objektu. Neki od ovih paketa pružaju jednu ili više numeričkih ocena za svaki dizajn rasporeda unutar fabrike, koji omogućavaju korisniku da proceni osnovanost alternativa u odnosu na protok materijala i slične faktore.

Tehnički gledano, **brza izrada prototipova** je termin koji se koristi za opisivanje određenog broja tehnika koje brzo proizvode krute fizičke modele komponenti i proizvoda korišćenjem 3D računarskih podatka za grupu relativno novih proizvodnih tehnologija. U principu ove tehnologije proizvodnje kreiraju proizvode dodavanjem slojeva materijala (ili polaganjem materijala), radije nego procesom uklanjanja metala odgovarajućom obradom. U suštini brza izrada prototipova pretvara trodimenzionalne CAD podatke u fizički model, bez potrebe za alatima posebne namene. Među poznatije procese brze izrade prototipova spadaju stereolitografija, selektivno lasersko sinterovanje i slojevito (ili laminirno) modelovanja objekta.

Stereolitografija je najviše zastupljena tehnologija za brzu izradu prototipova. Stereolitografijom se dobijaju plastični delovi i objekti iz slojeva putem puštanja laserskog zraka na površinu kade u kojoj je tečan foto polimer. Ova klasa matarijala brzo očvršćava tamo gde laserski zrak dodirne površinu tečnosti. Kada se jedan sloj oformi, spušta se za malu visinu unutar kade i sledeći se nanosi na površinu prvog. Adhezivna svojstva materijala

uzrokuju da slojevi budu čvrsto povezani među sobom i brzo formiraju kompletan trodimenzionalni objekat nakon formiranja svih slojeva posebno. Neki objekti moraju imati noseću strukturu. Oni se izrađuju ili ručno ili automatski i izrađuju se zajedno sa objektom. Nakon završetka procesa izrade, objekat se podiže iz kade i sklanja se noseća struktura. Smatra se da stereolitografija omogućava najveću tačnost i najbolji kvalitet površina od svih ostalih tehnologija za brzu izradu prototipova. Tokom godina razvijen je širok spektar materijala sa termoplastičnim svojstvima. Ograničen izbor promene boje materijala u biomedicinske i druge primene je moguć. U novije vreme razvijeni su i materijali na bazi keramike. Ova tehnologija se primenjuje za izradu delova velikih dimenzija. Kao nedostatak, rad sa tečnim materijalima može biti komplikovan i delovi često zahtevaju postprocesiranje u odvojenim aparaturama u obliku kade za poboljšanje stabilnosti, čvstoće i drugih karakteristika.

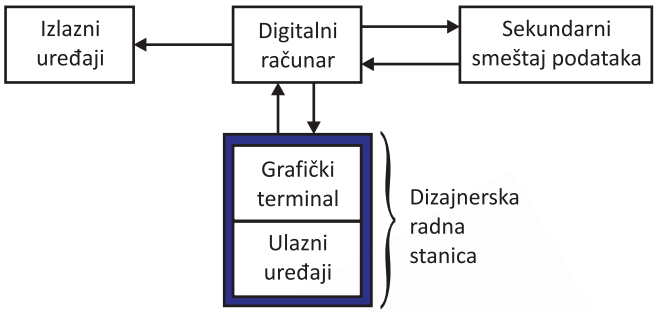
Selektivno lasersko sinterovanje (SLS) je sličan proces stereolitografiji. Termoplastični prah se nanosi valjkom na površinu cilindra za fabrikaciju. Klip cilindra se pomera nadole za po jedan sloj objekta da omogući nanošenje novog sloja praha. Sistem za snabdevanje prahom je sličan kao i fabrikacioni cilindar. Klip se kreće nagore inkrementalno i snabdeva se odmerenom količinom praha za svaki sloj. Laserski zrak se zatim pušta preko površine sloja ovog slabo kompaktnog praha i selektivno ga očvršćava da oformi sloj. Fabrikaciona komora je podešena na temperaturu tek nešto nižu od tačke topljenja praha tako da toplota lasera treba da samo malo poveća temperaturu da bi omogućila sinterovanje. Ovo uveliko ubrzava proces. Proces se ponavlja dok se ceo objekat ne formira. Nakon formiranja celog objekta klip se podiže nagore i podiže deo. Višak praha se jednostavno skida i može se naknadno završno obraditi. Nikakve noseće strukture nisu potrebne sa ovom metodom. SLS nudi ključne prednosti pri izradi funkcionalnih modela delova posebno kod finalnih materijala. Međutim, ceo sistem je mehanički kompleksniji od mnogih drugih tehnologija. Širok spektar termoplastičnih materijala, kao što su: najlon, staklom punjeni najlon i polistiren su raspoloživi za korišćenje. Kvalitet površina i tačnost nisu dobre kao kod nekih tehnologija, ali karakteristike materijala su približne. Ovaj metod se koristi kod direktne izrade metalnih i keramičkih objekata i alata. Posledica sinterovanja materijala je poroznost. Može biti neophodno da se u deo (naročito ako je metalni) infiltira neki drugi materijal da bi poboljšao mehaničke karakteristike.

Automatizovana izrada crteža i dokumentacije. Četvrta oblast gde je CAD koristan (korak 6 u procesu projektovanja) je prezentacija i dokumentovanje. CAD sistemi mogu da se koriste kao automatizovane mašine za brzu pripremu i izradu veoma preciznih inženjerskih crteža. Procenjuje se da CAD sistem povećava produktivnost u izradi crteža oko pet puta u odnosu na ručnu pripremu i izradu crteža.

15.2. Hardverske komponente CAD sistema

Hardver tipičnog CAD sistema se sastoji od sledećih komponenti: (1) jedna ili više dizajnerskih radnih stanica, (2) digitalni računar, (3) ploteri, štampači i drugi izlazni uređaji i (4) uređaji za skladištenje. Odnos između navedenih komponenti ilustrovan je na slici 15.4. Pored toga, CAD sistemi bi mogli da imaju interfejse za komunikaciju preko

kojih bi bio dozvoljen prenos podataka sa drugih računarskih sistema, omogućivši na taj način prednosti integracije računara.



Slika 15.4. *Konfiguracija tipičnog CAD sistema*

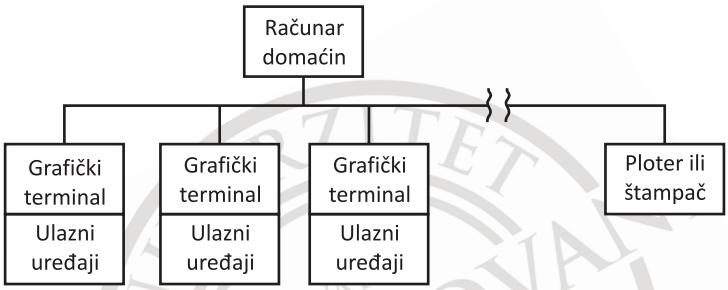
Dizajnerske radne stanice. Radna stanica je interfejs između računara i korisnika unutar CAD sistema. Njene funkcije su sledeće: (1) komunicira sa CPU-om, (2) stalno proizvodi grafičke slike, (3) omogućava digitalni opis slike, (4) prevodi komande korisnika u operativne funkcije i (5) olakšava interakciju između korisnika i sistema.

Dizajnerske CAD radne stanice i njihove dostupne funkcije imaju značajan uticaj na udobnost, produktivnost i kvalitet proizvoda od strane korisnika. Radna stanica mora da sadrži terminal za grafički prikaz i skup ulaznih korisničkih uređaja. Displej terminala mora biti sposoban da pokaže i grafiku i tekst. To je osnovni način na koji sistem komunicira sa korisnikom. Za optimalan prikaz grafike, monitor treba da ima veliki ekran u boji sa visokom rezolucijom. Današnji CAD monitori pokazuju trodimenzionalne objekte kao dvodimenzionalne slike, koristeći senčenja i osvetljenja kako bi pružili iluziju trodimenzionalnosti. Oni ne pokazuju pravi 3D. Novi monitori se razvijaju i oni će omogućiti dizajnerima da vide dimenziju dubine realnije, umesto da koriste svoju maštu kako bi vizualizovali svoj rad na 2D ekranima.

Korisnički ulazni uređaji dozvoljavaju operateru da komunicira sa sistemom. Za rad CAD sistema, korisnik mora biti u stanju da (1) unese alfanumeričke podatke, (2) unese komande u sistem kako bi mogle da se vrše različite grafičke operacije i (3) kontroliše poziciju kursora na ekranu. Da bi se uneli alfanumerički podaci, korisnik ima alfanumeričku tastaturu, koja se takođe može koristiti za unos komandi i uputstava sistema. Međutim, drugi uređaji mogu da postignu ove funkcije na udobniji način. Posebne funkcionalne tastature su razvijene da bi se unele komande pritiskom samo na jedan ili dva tastera. Ove posebne tastature imaju od 10 do 50 funkcijskih tastera, u zavisnosti od sistema. Međutim, svaki taster obezbeđuje više od jedne funkcije, u zavisnosti od kombinacije pritisnutih tastera ili softvera koji se koristi. Još jedan ulazni uređaj za unos komande u CAD sisteme je "osetljiva elektronska tabla" na kojoj je prikazan skup instrukcija, a komande se unose pomoću miša ili elektronskom olovkom. Kontrola kursora dozvoljava operateru da pozicionira kursor na ekranu kako bi se identifikovalo mesto gde neke funkcije treba da se izvrše. Na primer, da bi se nacrtala prava linija na ekranu, korisnik može da locira kursor na dve krajnje tačke i da dâ komandu za konstruisanje linije. Koriste se razni uređaji za kontrolu kursora unutar CAD sistema uključujući i miševe, džojstike, elektronske table itd.

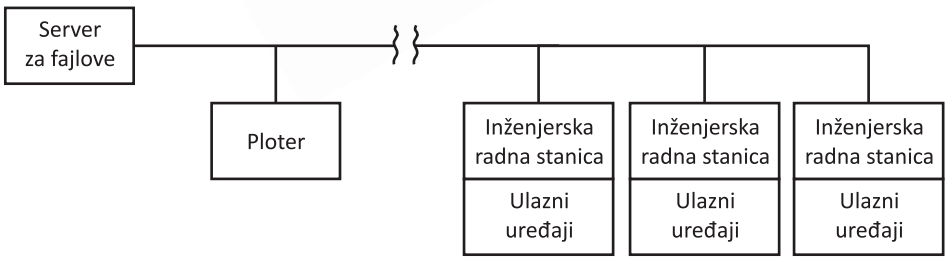
Digitalni računar. CAD aplikacije zahtevaju digitalni računar sa velikom brzinom centralne procesorske jedinice (CPU), sa matematičkim koprocesorom za obavljanje računarski intenzivnih operacija, kao i velike interne memorije. Današnji komercijalni sistemi imaju 32-bitne ili 64-bitne procesore, koji omogućavaju velike brzine izvršenja CAD grafike i primene inženjerskih analiza.

Nekoliko konfiguracija CAD sistema je dostupno u okviru opštih aranžmana prikazanih na slikama 15.5, 15.6 i 15.7. Reč je o tri glavne konfiguracije koje su ilustrovane na slikama: (15.5) domaćin i terminali, (15.6) inženjerske radne stanice i (15.7) CAD sistem zasnovan na personalnim računarima (PC).



Slika 15.5. *Konfiguracija CAD sistema – domaćin i terminali*

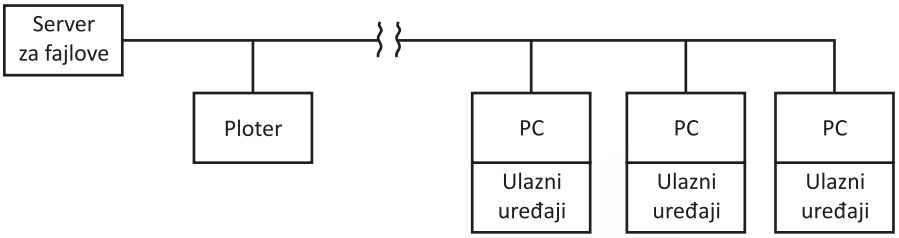
Domaćin i terminali je bila originalna konfiguracija CAD-a 1970-ih i ranih 1980-ih, kada je prvi put razvijena tehnologija. Dugi niz godina, to je bila jedina konfiguraciju na raspolaganju. U tom aranžmanu, veliki centralni računara ili mini računar služili su kao domaćin za jedan ili više grafičkih terminala. Ovi sistemi su skupi, svaka instalacija obično predstavlja investiciju od milion dolara ili više. Moćni mikroprocesori i osetljivi memorijski uređaji koji su uobičajeni danas, nisu bili dostupni u to vreme. Jedini način da se ispune uslovi računarske grafike i obrade u vezi CAD aplikacija je bio da se koristi računar povezan sa više terminala koji su radili na osnovu tajm-šeringa. Konfiguracija CAD sistema "domaćin i terminali" se i danas koristi u automobilskoj industriji i u drugim industrijama u kojima je potrebno da radi velika centralna baza podataka.



Slika 15.6. *Konfiguracija CAD sistema – inženjerske radne stanice*

Inženjerska radna stanica je samostalni računarski sistem koji je posvećen (dodeljen) jednom korisniku i koji može da izvršava grafičke softvere i druge programe koji zahtevaju veoma brze i efikasne računare. Grafički ekran je monitor velikih dimenzija i visoke

rezolucije. Kao što je prikazano na slici 15.6, inženjerske radne stanice su često umrežene kako bi se dozvolila razmena datoteka i programa između korisnika, i da bi se zajednički koristili ploter(i) i uređaj(i) za skladištenje podataka.



Slika 15.7. *Konfiguracija CAD sistema bazirana na PC-ima*

CAD sistem baziran na PC-u predstavlja računar sa procesorom visokih performansi i sa grafičkim prikazom na monitoru visoke rezolucije. Računar je opremljen sa velikom radnom memorijom (RAM), matematičkim koprocesorom i hard diskom velikog kapaciteta za skladištenje velikih softverskih aplikacija, koji se koriste od strane CAD paketa. CAD sistemi bazirani na personalnim računarima mogu biti umreženi za deljenje datoteka, izlaznih uređaja, kao i za druge svrhe.

Ploteri i štampači. Dosta često je monitor jedini izlazni uređaj koji se fizički nalazi u CAD radnoj stanici. Ne treba posebno napominjati da postoji potreba da se dokument dizajna odštampa na papiru. Periferije u CAD sistemu uključuju jedan ili više izlaznih uređaja za ovu namenu. Među tim izlaznim uređajima su:

- Ploteri sa perima. Ovo su x – y ploteri raznih vrsta koji se koriste za proizvodnju visoko preciznih linijskih crteža.
- Elektrostatički ploteri. Ovo su brži uređaji koji su zasnovani na tehnologiji aparata za fotokopiranje. Rezolucija crteža na ovim ploterima je, generalno, niža od rezolucije koju postižu ploteri sa perima.
- *Ink-jet* štampači. Kod ovakvih štampača slike se formiraju prskanjem boje velikom brzinom na papir. Boje mogu da se lakše uključe u crteže sa *ink-jet* tehnologijom, nego sa elektrostatičkim štampanjem.

Uređaji za skladištenje. Periferijski uređaji za skladištenje se koriste u CAD sistemima za skladištenje programa i datoteka sa podacima. Medijumi za skladištenje su, obično, magnetni diskovi ili magnetne trake. Datoteke se mogu brže preuzimati sa magnetnih diskova, što olakšava učitavanje i razmenu datoteka između CPU-a i diska. Magnetna traka je jeftinija varijanta, ali je potrebno više vremena za pristup datoj datoteci zbog sekvencijalnog skladištenja datoteke na traku. Pogodna je za pravljenje rezervne kopije diska, za arhiviranje fajlova i prenos podataka na izlazne uređaje.

15.3. CAM, CAD/CAM i CIM

U početku su ukratko definisani CAM, CAD/CAM i CIM. U ovom delu će se detaljnije objasniti ovi termini, kao i određene razlike. Računarski integrisana proizvodnja (CIM) se ponekad

koristi kao sinonim za CAM i CAD/CAM. Iako su ovi termini tesno povezani, sigurno je da CIM ima šire značenje, nego što imaju CAM ili CAD/CAM.

15.3.1. CAM – *Computer Aided Manufacturing*

Proizvodnja podržana računarima (*Computer Aided Manufacturing* – CAM) predstavlja efikasnu upotrebu računarske tehnologije u planiranju proizvodnje i kontroli. CAM je usko povezana sa funkcijama u proizvodnom inženjeringu, kao što se planiranje procesa i numerička kontrola (NC) programiranja delova. Sa osvrtom na model proizvodnje, primene CAM-a mogu da se podele u dve široke kategorije: (1) planiranje proizvodnje i (2) kontrola proizvodnje.

Planiranje proizvodnje. CAM aplikacije za planiranje proizvodnju su one u kojima se računar koristi za indirektno podržavanje proizvodnih funkcija, ali ne postoji direktna veza između računara i procesa. Računar se koristi *off-line* da bi se obezbedile informacije za efikasno planiranje i upravljanje proizvodnim aktivnostima. Sledi lista primena važnih aplikacija CAM-a ovoj kategoriji:

- Proces planiranja pomoću računara - CAPP (*Computer Aided Process Planning*). Proces planiranja se bavi pripremom rasporeda trasa u kojima je izlistan redosled operacija i radnih centara neophodnih za proizvodnju ovog proizvoda i njegovih komponenti. CAPP sistemi su danas dostupni za pripremu ovih ruta.

- NC programiranje delova uz pomoć računara. Za deo sa kompleksnom geometrijom, programiranje dela uz pomoć računara predstavlja mnogo efikasniji metod generisanja kontrolnih instrukcija za mašine alatke, nego "ručno" programiranje dela.

- Kompjuterizovani sistemi podataka mašine. Jedan od problema sa operativnim mašinama alatkama za sečenje metala je određivanje brzine i dubine sečenje prilikom rada sa radnim delom. Računarski programi su napisani da preporuče odgovarajuće režime sečenja za različite materijale. Proračuni se zasnivaju na podacima koji su dobijeni ili iz fabrike ili iz laboratorije koja je ispitivala odnos alata i životnog ciklusa alata u uslovima u kojima se obavlja operacija sečenja.

- Kompjuterizovani radni standardi. Odeljenje u čiji zadatak spada i procena vremena ima odgovornost za postavljanje vremenskih standarda za direktne poslove koji se obavljaju u fabrici. Uspostavljanje standarda direktnom procenom vremena može biti zamoran i vremenski zahtevan zadatak. Postoji nekoliko dostupnih komercijalnih računarskih paketa za postavljanje standarda rada. Ovi računarski programi koriste podatke o standardnim vrememina, koji su razvijeni za osnovne radne elemente koji učestvuju u postavljenom zadataku. Program sumira potrebna vremena za pojedinačne elemente kako bi se izračunalo standardno vreme za celokupni posao.

- Procena troškova. Zadatak procene troškova novog proizvoda je pojednostavljen u mnogim delatnostima od kompjuterizacije nekoliko ključnih koraka potrebnih da pripremi procenu. Računar je programiran da primeni odgovarajuće sekvencijalne

elemente planiranih operacija za izradu komponenti novih proizvoda. Na osnovu svega, program sabira pojedinačne troškove komponenti iz inženjerskih lista materijala za određivanje ukupnih troškova za izradu proizvoda.

- Proizvodnja i planiranje inventara. Računar se široko koristi u mnogim funkcijama u proizvodnji i planiranjima zaliha. Ove funkcije uključuju održavanje zapisa o zalihama, promenu redosleda automatskog dopunjavanja zaliha kada su pojedinačne stavke iscrpljene, planiranje proizvodnje, vođenje tekućih prioriteta za različite proizvodne naloge, planiranje materijalnih zahteva i planiranje kapaciteta.

- Balansiranje proizvodnih linija pomoću računara. Pronalaženje "najboljih lokacija" radnih elemenata između stanica na pokretnoj traci je veliki i težak problem, ako je proizvodna linija značajne veličine. Razvijen je solidan broj računarskih programa koji su u stanju da pomognu u rešavanju ovog problema.

Kontrola proizvodnje. Druga kategorija CAM aplikacija tiče se razvoja računarskih sistema za sprovođenje funkcije kontrole proizvodnje. Kontrola proizvodnje se bavi upravljanjem i kontrolom fizičkih poslova u fabrici. Ove oblasti upravljanja i kontrole obuhvataju sledeće:

- Monitoring procesa i kontrola. Nadgledanje (monitoring) procesa i kontrola se bave posmatranjem i regulisanjem proizvodne opreme i proizvodnih procesa u fabrici. Primene računara za kontrolu procesa se prožimaju i danas u automatizovanim proizvodnim sistemima. One uključuju prenosne linije, montažne sisteme, NC, robotiku, rukovanje materijalom i fleksibilne proizvodne sisteme.

- Kontrola kvaliteta. Kontrola kvaliteta obuhvata različite pristupe kako bi se obezbedio najviši mogući nivo kvaliteta izrađenog proizvoda.

- Kontrola pogona. Kontrola pogona se odnosi na upravljanja proizvodnim tehnikama za prikupljanje podataka iz fabričkih operacija i korišćenje podataka za pomoć pri kontroli proizvodnje i zaliha u fabrici.

- Kontrola zaliha. Kontrola zaliha se bavi održavanjem najprikladnijeg nivoa zaliha, pokušavajući da uskladi dva suprotstavljena cilja – smanjenje ulaganja i troškova skladištenja inventara, kao i maksimalna usluga klijentima.

- *Just In Time* (J-I-T) proizvodni sistemi. Pomenuti termin J-I-T se odnosi na sistem proizvodnje koji je organizovan tako da isporučuje tačan broj potrebnih komponenti radnim stanicama u proizvodnim linijama, baš u vreme kada je komponenta i potrebna. Termin se odnosi ne samo na proizvodne operacije, nego i na poslovanja oko isporuka dobavljačima.

15.3.2. CAD/CAM

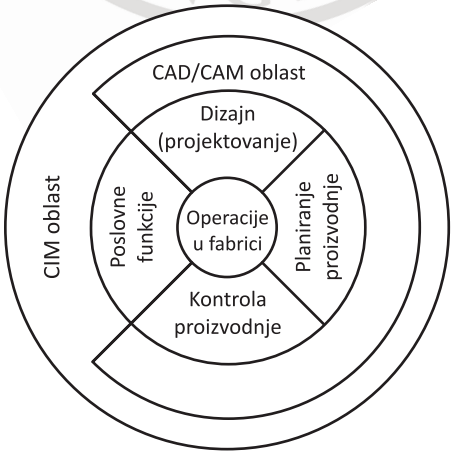
CAD/CAM se bavi inženjerskim funkcijama i u dizajnu i u proizvodnji. Dizajn proizvoda, inženjerske analize i dokumentovanje dizajna (na primer, crteži) su aktivnosti inženjerskog projektovanja. Proces planiranja, NC programiranje dela, kao i druge aktivnosti u vezi sa CAM-om, su aktivnosti inženjerske izrade (proizvodnje). CAD/CAM sistemi su razvijeni

tokom 1970-ih i početkom 1980-ih godina bili su primarno dizajnirani za rešavanje ove vrste inženjerskih problema. Od tada, CAM je evoluirao da obuhvati mnoge druge funkcije u proizvodnji, kao što su zahtevi za planiranje materijala, planiranje proizvodnje, praćenje proizvodnje pomoću računara i kontrole procesa pomoću računara.

Takođe, trebalo bi napomenuti da CAD/CAM označava integraciju aktivnosti dizajna i proizvodnje pomoću računarskih sistema. Način izrade proizvoda je direktna funkcija njegovog dizajna. Sa konvencionalnim postupcima primenjivanim toliko godina u industriji, inženjerski crteži su pripremani od strane tehničkog crtača i kasnije su korišćeni od strane inženjera u proizvodnji za razvoj planiranih aktivnosti unutar procesa. Aktivnosti uključene u dizajniranje proizvoda, odvojene su od aktivnosti u vezi sa planiranjem procesa. Korišćenjem CAD/CAM tehnologija, moguće je da se uspostavi direktna veza između dizajna proizvoda i proizvodnog inženjeringa. U stvari, CAD/CAM je jedna od tehnoloških mogućnosti za konkurentni inženjering. To je cilj CAD/CAM tehnologije – ne samo da se automatizuju određene faze dizajna i određene faze proizvodnje, nego i da se automatizuje prelaz od dizajna do proizvodnje. U idealnom CAD/CAM sistemu, moguće je da se iz glavnog dizajna specificira proizvod, jer se nalazi u CAD bazi podataka, i da se automatski konvertuje u plan procesa za izradu proizvoda. Veliki deo obrade može biti postignut na numerički kontrolisanim mašinama alatkama. Kao deo plana procesa, NC programiranje dela je automatski generisano od strane CAD/CAM-a. CAD/CAM sistem preuzima NC program direktno i prosleđuje ga mašini alatki putem mreže. Dakle, po ovom aranžmanu, dizajn proizvoda, NC programiranje i fizičku proizvodnju sprovodi računar.

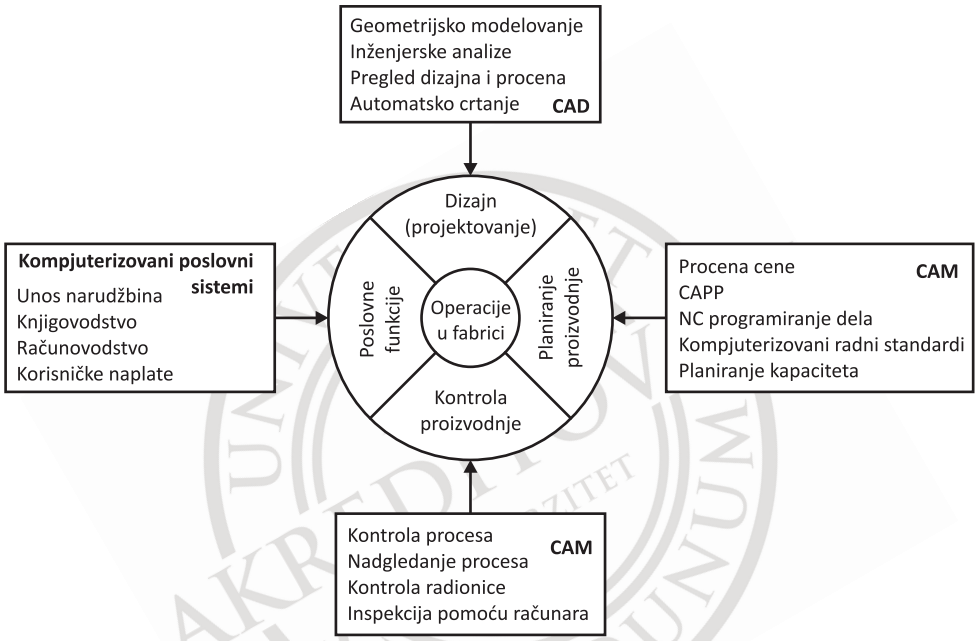
15.3.3. CIM – *Computer Integrated Manufacturing*

Računarski integrisana proizvodnja obuhvata sve inženjerske CAD/CAM funkcije, ali takođe uključuje i poslovne funkcije koje se odnose na proizvodnju. Idealni CIM sistem primenjuje računanje i komunikacione tehnologije za sve operativne funkcije i funkcije obrade podataka u proizvodnji, od prijema naloga, "kroz" projektovanje i proizvodnju, do isporuke proizvoda. Odnos CIM-a i CAD/CAM-a je prikazan na slici 15.8.



Slika 15.8. *Odnos CAD/CAM-a i CIM-a*

CIM koncept predstavlja sve potrebne operacije koje su inkorporirane u integrisani računarski sistem, koji je od izeztne pomoći i koji je u stanju da poboljša i automatizuje poslovanje. Računarski sistem je rasprostranjen po celoj firmi, dodiruje sve aktivnosti koje podržavaju proizvodnju. U ovom integrisanom računarskom sistemu, izlaz jedne aktivnosti služi kao ulaz u sledeću aktivnost, kroz lanac događaja koji počinje sa ciljem prodaje i kulminira sa isporukom proizvoda. Komponente integrisanog računarskog sistema su ilustrovane na slici 15.9.



Slika 15.9. *Kompjuterizovani elementi CIM sistema*

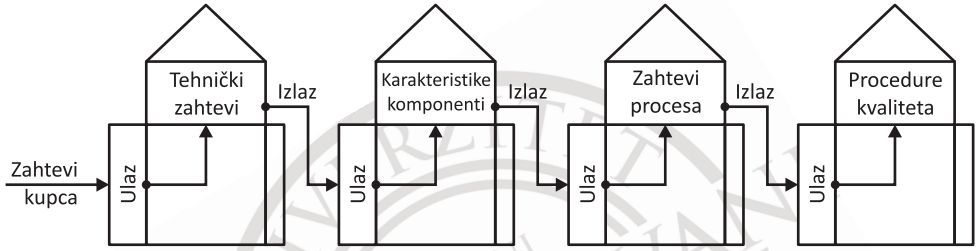
Puna implementacija CIM-a rezultira automatizacijom protoka informacija kroz svaki aspekt organizacije kompanije.

15.4. Razvoj funkcije kvaliteta

Brojni koncepti i tehnike su razvijene da bi se pomoglo u funkconisanju dizajna proizvoda. Na primer, nekoliko principa i metoda japanca po imenu *Taguchi* mogu se primeniti na dizajn proizvoda, kao što su "robustan dizajn" i "funkcije gubitka". Teme konkurentnog inženjerstva i dizajna za proizvodnju su, takođe, usko vezane za dizajn. U ovom delu razmotriće se tehnika koja je prihvaćena u zajednici dizajnera proizvoda kao sistemski način za organizovanje i vođenje bilo kog dizajnerskog problema. Metoda se zove razvoj funkcije kvaliteta.

Razvoj funkcije kvaliteta (*Quality Function Deployment* – QFD) zvuči kao kvalitet u vezi tehnike, s tim što QFD svakako podrazumeva kvalitet. Međutim, glavni fokus ovog razvoja je na dizajnu proizvoda. Cilj QFD-a je da se dizajnira proizvoda koji će zadovoljiti

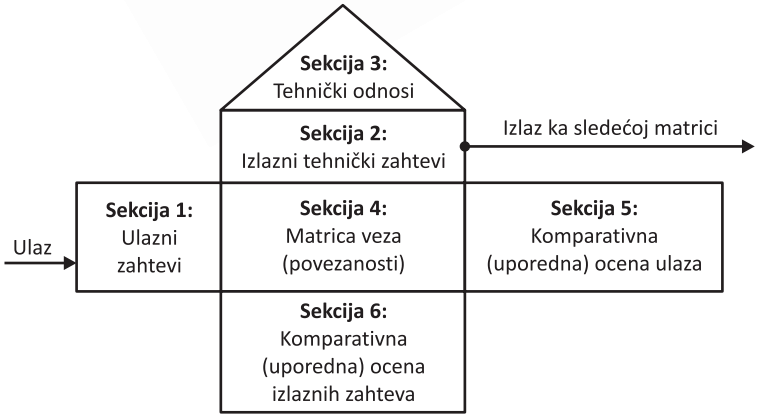
ili premašiti zahteve kupaca. Naravno, svaki projekat dizajna proizvoda ima taj cilj, ali pristup je često neformalan i nesistematičan. QFD, razvijen u Japanu sredinom 1960-ih, koristi formalni i strukturirani pristup. Razvoj funkcije kvaliteta predstavlja sistematsko raspoređivanje funkcija za definisanje želja i zahteva kupaca i interpretira ih u pogledu karakteristika proizvoda, zahteva procesa i karakteristika kvaliteta. Ova tehnika je ilustrovana na slici 15.10. U QFD analizama, niz međusobno povezanih matrice je razvijen da se uspostavi veza između zahteva kupca i tehničkih karakteristika predloženog novog proizvoda. Matrice predstavljaju faze napredovanja u QFD analizi, u kojoj su zahtevi potrošača, najpre, prevedeni na karakteristike proizvoda, a zatim u zahteve proizvodnog procesa i konačno, u kvalitet postupaka za kontrolu proizvodnih operacija.



Slika 15.10. *Razvoj funkcije fakulteta prikazan kao serija relacijskih matrica*

Trebalo bi napomenuti da QFD može da se primeni i za analizu isporuku usluga, kao i za dizajn i izradu proizvoda. Može se koristiti za analizu postojećeg proizvoda ili usluge, ne samo predloženog novog proizvoda ili nove usluge. Matrice mogu da imaju različita značenja u zavisnosti od proizvoda ili usluge koji su analizirani. Broj matrica koji se koristi u analizi, takođe, može da se razlikuje, od jedne (iako jedna matrica ne iskorišćava u potpunosti potencijal QFD-a) pa sve do 30. QFD predstavlja opšti okvir za analizu proizvoda i problema pri dizajniranju (projektovanju) procesa, i mora se prilagoditi datom kontekstu problema.

Svaka matrica u QFD je sličnog formata i sastoji se od šest delova, kao što je prikazano na slici 15.11.



Slika 15.11. *Opšta forma svake matrice u QFD*

Sa leve strane nalazi se Sekcija 1 i u njoj lista ulaznih zahteva koja služi kao usmerivač za trenutnu matricu u QFD analizi. U prvoj matrici, ovi ulazi su potrebe i želje kupca. Ulazni zahtevi su prevedeni na izlazne tehničke zahteve, navedene u Sekciji 2. Ovi tehnički zahtevi pokazuju kako ulazni zahtevi treba da budu zadovoljeni u novom proizvodu ili usluzi. U početnoj matrici, oni predstavljaju tehničke karakteristike proizvoda i mogućnosti. Izlazni zahtevi u ovoj matricu služe kao ulazni zahtevi za sledeću matricu, do završne (konačne) matrice u QFD analizi.

Na vrhu matrice je Sekcija 3 koja prikazuje tehničke korelacije između izlaznih tehničkih zahteva. Ovaj deo matrice koristi dijagonalnu mrežu kako bi se svaki od izlaznih zahteva upoređivao sa svim drugim zahtevima. Oblik te mreže je sličan krovu kuće, a iz tog razloga izraz "kuća kvaliteta" se često koristi da opiše ukupnu matricu. Ovaj izraz se primenjuje samo do početne matrice u QFD po nekim autorima, a i sekcija tehničkih korelacija (krov kuće) može biti izostavljena u narednim matricama u analizi. Sekcija 4 se naziva matrica veza – ukazuje na odnos između ulaza i izlaza. Razni simboli su korišćeni za definisanje odnosa između parova faktora u sekcijama 3 i 4. Ovi simboli su naknadno smanjeni na numeričke vrednosti.

Na desnoj strani matrice je Sekcija 5 i koristi se za uporednu procenu ulaza. Na primer, u početnoj matrici, to može da se koristi za upoređivanje predloženog novog proizvoda sa konkurentskim proizvodima, koji su već na tržištu. Konačno, na dnu matrice se nalazi Sekcija 6 koja se koristi za uporednu procenu proizvodnih zahteva. Svih šest sekcija mogu da imaju različita tumačenja za različite matrice QFD i za različite proizvode ili usluge, ali adekvatni opisi se tretiraju kao opšti .

Slede kratke crte o "izgradnji" kuće kvaliteta, tj. matrice koja se koristi za prvu fazu QFD. Ovo je početak analize, u kojoj su zahtevi i potrebe kupaca ili potrošača prevedeni na proizvodne tehničke zahteve. Postupak može da se izvede u sledećih šest koraka.

1. Identifikovanje zahteva korisnika. Ovaj korak se često naziva i "glas kupca". To je primarni unos u QFD (sekcija 1 na slici 15.11). Snimanje potreba kupaca, želje i zahtevi je najkritičnija faza u analizi. To se postiže pomoću različitih metoda. Izbor najpogodnije metode za prikupljanje podataka zavisi od proizvoda ili situacije oko usluga. U mnogim slučajevima, potrebno je više od jednog pristupa kako bi se obavila neophodna identifikacija punog opsega potreba klijenata.

2. Identifikovanje karakteristika proizvoda koje bi trebalo da ispune zahteve korisnika. To su tehnički zahtevi proizvoda (sekcija 2 na slici 15.11), koji odgovaraju zahtevima i željama izraženim od strane kupca. U stvari, ove funkcije proizvoda predstavljaju dostupna sredstva pomoću kojih je zadovoljen "glas kupca". Mapiranje zahteva potrošača u karakteristike proizvoda često zahteva genijalnost, a ponekad zahteva i stvaranje novih mogućnosti koje nisu bile prethodno dostupne na konkurentskim proizvodima.

3. Utvrđivanje tehničkih korelacija između karakteristika proizvoda. Ovo je sekcija 3 na slici 15.11. Različite karakteristike proizvoda verovatno će biti povezane jedna sa drugom ili drugima. Svrha ove sekcije je da se odredi jačina veze između parova karakteristika proizvoda. Umesto korišćenja simbola, kao što je prethodno navedeno, u nekim "kućama kvaliteta" uvode se numeričke ocene. Ovi numerički rezultati ukazuju koliko je značajan (koliko je jak) odnos između odgovarajućih parova zahteva.

4. Razvoj matrice odnosa između zahteva kupca i karakteristika proizvoda. Funkcija odnosa matrice u QFD analizi je da pokaže koliko dobro kolekcija karakteristika proizvoda ispunjava individualne zahteve korisnika. Identifikovana kao sekcija 4 na slici 15.11, matrica veza pokazuje odnos između individualnih faktora u dve liste.

5. Uporedna procena ulaznih zahteva kupca. Trebalo bi napomenuti da Sekcija 5 "kuće kvaliteta" izvršava dva poređenja. Prvo, relativni značaj svakog kupca ocenjuje se pomoću numeričke šeme bodovanja. Visoke vrednosti ukazuju na to da je zahtev kupca važan, dok niska vrednost pokazuje nizak prioritet. Ova procena može da se koristi za vođenje dizajna (projekta) predloženog novog proizvoda. Drugo, postojeći konkurentni proizvodi se procenjuju u odnosu na zahteve korisnika. Ovo poprilično pomaže u identifikovanju eventualnih slabosti ili prednosti u konkurentskim proizvodima koji bi mogli biti naglašeni u novom dizajnu.

6. Uporedna procena tehničkih uslova proizvodnje. Ovo je sekcija 6 na slici 15.11. U ovom delu analize, svaki konkurentski proizvod je ocenjen ili procenjen u odnosu na izlazne tehničke zahteve. Konačno, ciljne (izlazne) vrednosti mogu da budu procenjene u odnosu na svaki tehnički uslov za predloženi novi proizvod.

U ovom trenutku u analizi, završna matrica sadrži mnogo informacija o tome koji su najvažniji zahtevi potrošača, kako se oni odnose na predložene nove funkcije proizvoda i kako se konkurentni proizvodi upoređuju sa ulaznim i izlaznim zahtevima. Sve ove informacije moraju biti asimilovane i ocenjene, kako bi se prešlo na sledeći korak u QFD analizi. Te potrebe kupaca i proizvodne karakteristike koje su najvažnije moraju se naglasiti kako se kroz analizu nastavlja utvrđivanje tehničkih uslova za komponente, proizvodne procese i kontrolu kvaliteta u narednim QFD matricama.

Glava 16

Proces planiranja i konkurentni inženjering

Dizajn proizvoda predstavlja plan za dati proizvod i njegove komponente i podsklopove. Proizvodni plan je potreban za konverziju dizajna proizvoda u fizički entitet. Aktivnosti po pitanju razvoja takvog plana se nazivaju proces planiranja. To je veza između dizajna proizvoda i proizvodnje. Proces planiranja uključuje utvrđivanje redosleda procesa i korake montaže, koji se moraju ostvariti da bi se izradio proizvod. U ovom poglavlju, ispitaće se proces planiranja i nekoliko sličnih tema.

Na početku, trebalo bi razlikovati proces planiranja i planiranje proizvodnje, što se obrađuje u sledećem poglavlju. Proces planiranja se bavi tehničkim detaljima – inženjeringom i tehnološkim pitanjima o tome kako napraviti proizvod i njegove delove, koje vrste opreme i alata su obavezni da bi se izradili delovi i sastavio proizvod. Planiranje proizvodnje se bavi pitanjima logistike izrade proizvoda – naručivanja materijala i dobijanje resursa koji su potrebni da bi proizvod u dovoljnim količinama zadovoljio potražnju.

16.1. Proces planiranja

Proces planiranja se sastoji od utvrđivanja najpogodnijih procesa za proizvodnju i montažu, kao i redosled po kome bi trebalo da se proizvede dati deo ili proizvod u skladu sa specifikacijama navedenim u dokumentaciji dizajna proizvoda. Obim i raznovrsnost procesa koji mogu biti planirani su, uglavnom, ograničeni raspoloživom procesnom opremom i tehnološkim mogućnostima preduzeća ili fabrike. Delovi koji ne mogu interno da budu napravljeni, moraju da se kupe od spoljnih (eksternih) dobavljača ili prodavaca. Izbor procesa je, takođe, ograničen detaljima dizajniranog proizvoda.

Proces planiranja je obično usaglašen sa proizvodnim inženjerima (drugi nazivi obuhvataju industrijski inženjeri, inženjeri proizvodnje i procesni inženjeri). Oni moraju biti upoznati sa pojedinačnim proizvodnim procesima koji su na raspolaganju u fabrici i moraju da budu u stanju da protumače inženjerske crteže. Na osnovu znanja planera, veštine i iskustva, procesni koraci su razvijeni po najlogičnijem redosledu kako bi se napravio svaki deo. Sledi spisak odluka i detalja koji su, obično, uključeni u okviru procesa planiranja.

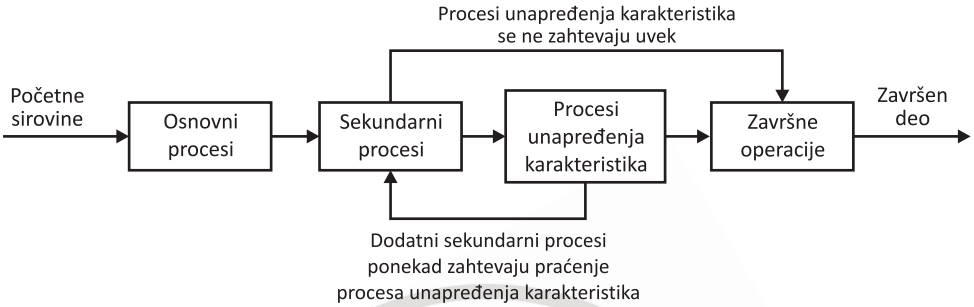
- Interpretacija crteža. Prvo, planer mora da analizira deo ili dizajn proizvoda (materijale, dimenzije, tolerancije, završnu obradu površina itd.).
- Izbor procesa i redosled. Projektant procesa mora da izabere koji procesi su neophodni, kao i njihov redosled, i da pripremi kratak opis svih koraka obrade ili procesa.
- Izbor opreme. Uopšteno govoreći, planeri procesa moraju da razviju planove koji koriste postojeću opremu u fabrici. U suprotnom, kompanija mora da kupi komponente ili da ulaže u novu opremu.
- Izbor alata, kalupa, opreme i baždarenje. Projektant procesa mora da odluči šta je od alata potrebno za svaki obradni (procesni) korak. Aktuelni dizajn i izrada ovih alata je, obično, poverena specijalizovanoj grupi za projektovanje alata, a sklapanje se obavlja u radionici (pogonskoj hali) ili alatnici.
- Metode analiziranja. Radni prostor, sitni alati, dizalice za podizanje teških delova, pa čak, u nekim slučajevima, pokreti ruku i tela moraju biti navedeni u uputstvima za navedene operacije. Odeljenje za industrijski inženjering je, obično, nadležno za ovu oblast.
- Postavljanje radnih standarda. Tehnike merenja radnog ciklusa se koriste za postavljanje vremenskih standarda za svaku operaciju.
- Izbor alata za sečenje i specifičnih uslova za njihov rad. Ovo mora biti navedeno za mašinske operacije, dosta često u odnosu na standardni priručnik preporuka i saveta. Slične odluke o procesu i podešavanju opreme morale bi biti definisane za ostale procese.

16.1.1. Proces planiranja za izradu delova

Za pojedine delove, procesna sekvenca je dokumentovana u obliku operacione liste. Baš kao što se inženjerski crteži koriste za specifikaciju dizajna proizvoda, operacione liste se koriste za specifikaciju plana procesa. Oni su "kolege" – jedno je namenjeno za dizajn proizvoda, a drugo za proizvodnju. Tipičan operacioni list uključuje sledeće informacije: (1) sve poslove koje treba izvršiti na radnom delu, navedene po redosledu po kome bi trebalo da se vrše, (2) kratak opis svake operacije indicirajući proces koji treba da se realizuje, sa referencama na dimenzije i tolerancije na crtežu dela, (3) specifične mašine na kojima posao treba da se odradi i (4) neki poseban alat, kao što su kalupi, alati za sečenje, burgija ili merač. Neke kompanije, takođe, uključuju i vremena podešavanja, standardno vreme ciklusa, kao i druge podatke. To se zove putni list, jer procesne sekvence definišu pravac koji deo mora da sledi u fabrici.

Procese potrebne za proizvodnju određenog dela određuju, u velikoj meri, materijali od kojih se deo pravi i koji su previđeni projektom. Ovaj početni materijal je izabran od strane dizajnera proizvoda. Kada je materijal definisan, raspon mogućih procesa je znatno smanjen. Odluke dizajnera proizvoda o početnom materijalu se zasnivaju, pre svega, na funkcionalnim zahtevima, iako ekonomičnost i lakoća proizvodnje, takođe, igraju ulogu u izboru.

Tipične sekvence procesa za proizvodnju individualnog dela se sastoje od (1) osnovnog procesa, (2) jednog ili više sekundarnih procesa, (3) operacija za poboljšanje fizičkih osobina i (4) završnih operacija. Nabrojane sekvence prikazane su na slici 16.1.



Slika 16.1. *Tipične sekvence procesa koje se zahtevaju pri izradi delova*

Osnovni proces određuje početnu geometriju radog dela. Kovanje metala, livenje plastike i valjanje lima su primeri osnovnih procesa. Početna geometrija često mora da se poboljša sekundarnim procesima, operacijama koje transformišu početnu geometrija u konačnu geometriju (ili blizu konačne geometrije). Sekundarni procesi, koji se mogu koristiti, su usko povezani sa osnovnim procesom, koji je omogućen od strane početne geometrije. Kada je livenje u pesku osnovni proces, onda su mašinske operacije, uglavnom, sekundarni procesi. Kada valjaonica proizvodi limove, operacije kao što su, na primer, probijanje i savijanje, su sekundarni procesi. Kada je brizganje plastičnih masa osnovni proces, sekundarne operacije su često nepotrebne.

Kada je definisana geometrija, sledeći korak za neke delove je da se unaprede mehaničke i fizičke osobine. Operacije za poboljšanje svojstava ne menjaju geometriju dela, samo fizičke osobine. Operacije toplotnim obradama na metalnim delovima su najčešći primeri. Slični tretmani grejanjem se izvode na staklu za proizvodnju kaljenog stakla. Za većinu proizvedenih delova, te operacije poboljšanja nisu potrebne, kao što je prikazano u vidu alternativnih putanja na slici 16.1.

Konačno, završne operacije obično omogućavaju primenu premaza površina radnog dela ili sklopa. Primeri uključuju, na primer, galvanizaciju i bojenje. Svrha premaza je da se poboljša izgled, promeni boja ili zaštiti površina od korozije, nagrizanja i drugih oštećenja. Završne operacije nisu potrebne na mnogim delovima, na primer, liveni plastični elementi retko zahtevaju dorade. Kada je potrebna dorada, obično je to poslednji korak u definisanom nizu obrada.

16.1.2. Proces planiranja za montažu

Metoda (način) za montažu koja se koristi za dati proizvod zavisi od faktora kao što su (1) predviđene količine proizvodnje, (2) složenost (kompleksnost) sklopljenog proizvoda, na primer, broj različitih komponenti i (3) korišćeni procesi montaže, na primer, mašinsko sklapanje u odnosu na zavarivanje. Za proizvod koji treba da se izradi u relativno malim količinama, montaža se obično obavlja na pojedinačnim radnim stanicama, gde jedan

radnik ili tim radnika obavljaju sve zadatke po pitanju montaže. Za složene proizvode u srednjim i visokim količinama, montaža se obično vrši na ručnim montažnim linijama. Da bi se napravili jednostavni proizvodi od desetak komponenti u velikim količinama, preporučljivi su automatizovani sistemi su montažu. U svakom pomenutom slučaju, uvek postoji redosled po kojem moraju da se obavljaju pojedinačne radnje.

16.1.3. Praviti ili kupiti?

Važno pitanje koje se postavlja u procesu planiranja je da li dati deo treba da bude proizveden u sopstvenoj fabrici kompanije ili kupljen od eksternog prodavca. Ako firma ne poseduje tehnološku opremu ili iskustvo u posebnim proizvodnim procesima neophodnim da se izradi deo, onda je odgovor očigledan – deo mora da se kupi, jer ne postoji unutrašnje rešenje. Međutim, u mnogim slučajevima, deo može biti ili interno napravljen korišćenjem postojeće opreme ili kupljen od eksternog prodavca koji ima slične proizvodne kapacitete.

Određen broj faktora utiče na odluku da li napraviti ili kupiti deo. Cena je obično najvažniji faktor u odlučivanju da li će se proizvoditi deo ili će se kupiti. Kao klasičan primer ove dileme trebalo bi razmotriti sledeći primer.

Primer i rešenje

Data je sledeća ponuda. Traženi deo od dobavljača košta $20,00\$$ po jedinici za 100 komada. Ako se pravi isti deo unutar sopstvenog pogona, onda će to koštati $28,00\$$ po komadu. Računica za pravljenje dela u sopstvenom pogonu je sledeća:

$$\begin{aligned}
\text{Jedinični materijalni troškovi} &= 8,00\$ \text{ po komadu} \\
\text{Troškovi direktnog rada} &= 6,00\$ \text{ po komadu} \\
\text{Troškovi naknadnog rada } 150\% &= 9,00\$ \text{ po komadu} \\
\text{Troškovi opreme} &= 5,00\$ \text{ po komadu} \\
\texttt{Ukupni troškovi} &= 28,00\$ \texttt{ po komadu}
\end{aligned}$$

Da li pomenutu komponentu treba kupovati ili je izrađivati "unutar kuće", tj. u sopstvenom pogonu?

Ako se krene od toga da se favorizuje kupovina, onda bi trebalo razmisliti o posledicama po fabriku, ako se insistira na takvom načinu rada. Fiksni troškovi opreme od $5,00\$$ su određeni na osnovu već određenih investicija. Ako se oprema ne koristi pošto je određeno da se obavi kupovina, visina fiksnih troškova ostaje ista, bez obzira što se ne koristi ista. Dodatni troškovi od $9,00\$$ sadrže troškove prostora, troškove indirektnog rada i ostale troškove, bez obzira da li je obavljena kupovina potrebnog dela.

Po ovom rasuđivanju, odluka za kupovinu može da košta kompaniju

$$20,00\$ + 5,00\$ + 9,00\$ = 34,00\$ \text{ po komadu,}$$

ako to rezultira praznim hodom mašine u fabrici i izgubljenim vremenom potrebnim za izradu dela.

S druge strane, ako oprema može da se iskoristi da se proizvedu druge komponente po ceni koja je niža nego da se kupe od eksternog dobavljača ili kupca, onda odluka o kupovini može da bude ekonomski isplativa (opravdana).

Donošenje odluke o pravljenju ili kupovini nisu često jednostavne kao u ovom primeru, jer ima mnogo faktora koji utiču na ovakve odluke.

16.2. CAPP – *Computer Aided Process Planning*

Proizvodne firme su veoma zainteresovane za automatizovanje zadataka planiranja procesa korišćenjem računarskih sistema za planiranje procesa (*Computer Aided Process Planning* – CAPP). Obučeni ljudi iz pogona koji su upoznati sa detaljima obrade i drugih postepeno "penzionisanih" procesa, biće od izuzetne pomoći u budućnosti po pitanju rada na planiranju procesa. Potreban je alternativni način ostvarivanju ove funkcije i CAPP sistemi pružaju ovu alternativu. Za CAPP se obično smatra da je deo računarski podržane proizvodnje (CAM). Međutim, to podrazumeva da je CAM samostalni sistem. U stvari, sinergija rezultata kada je CAM u kombinaciji CAD-om kreira CAD/CAM sistem. U takvom sistemu, CAPP postaje direktna veza između dizajna i proizvodnje. Izvedene prednosti iz procesa planiranja pomoću računara uključuju sledeće:

- Proces racionalizacije i standardizacije. Automatizovani proces planiranja dovodi do logičkog i doslednog planiranja procesa, za razliku kada se to odrađuje "ručno". Standardni planovi imaju tendenciju da dovedu do sniženja proizvodnih troškova i boljeg kvaliteta proizvoda.

- Povećana produktivnost procesa planera. Sistematski pristup i dostupnost standardnih planova procesa u datotekama sa podacima omogućavaju planerima procesa još više slobode i dozvoljavaju im da budu još kreativniji.

- Smanjeno potrebno vreme za planiranje procesa. Rad sa CAPP sistemima planerima procesa omogućava da obave zadatak mnogo brže, u odnosu na "ručne" pripreme.

- Poboljšana čitljivost u odnosu na ručno pisane rute (izveštaje). Izveštaji kreirani na računaru su razumljiviji i lakše se čitaju od "ručno" kreiranih lista.

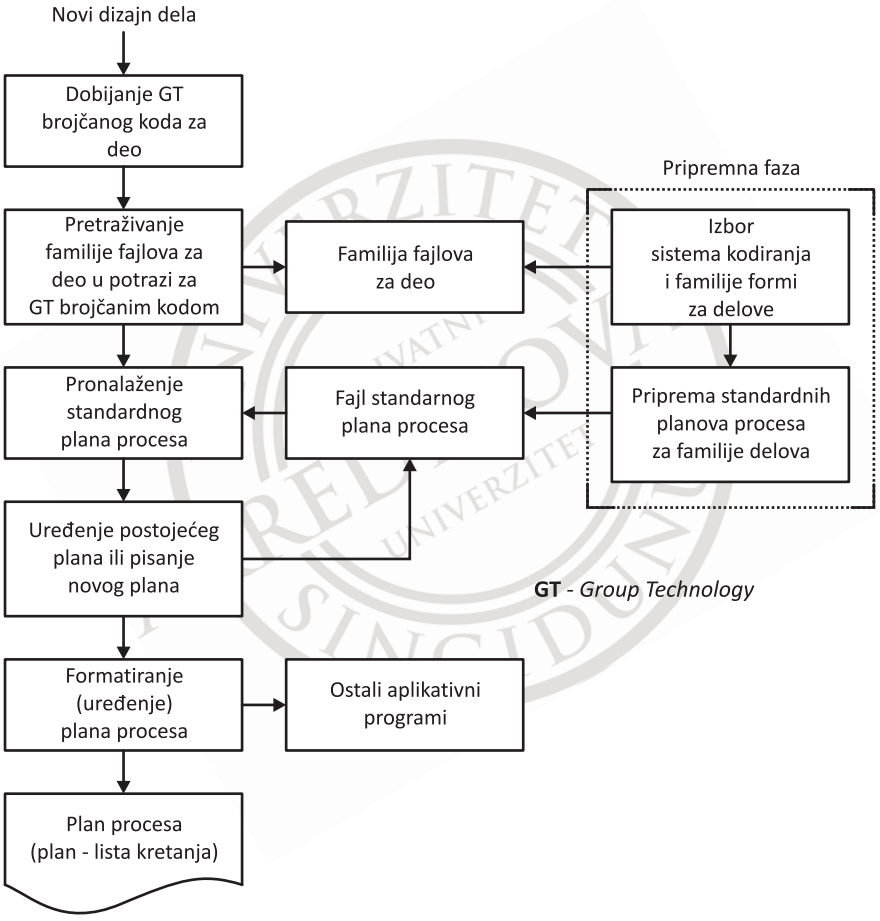
- Primena drugih aplikativnih programa. CAPP prorami mogu biti međuveze (interfejsi) sa drugim aplikativnim programima, kao što su programi koji se bave procenom troškova, radnim standardima i NC programiranjem delova.

Sistemi za planiranje procesa pomoću računara su osmišljeni tako da podržavaju sledeća dva pristupa: (1) pronađeni i preuzeti CAPP sistemi i (2) proizvodni (generativni) CAPP sistemi.

Neki CAPP sistemi kombinuju ova dva pristupa i dolazi se do sistema koji su poznati pod nazivom polugenerativni CAPP sistemi.

16.2.1. Pronađeni i preuzeti CAPP sistemi

Pronađeni i preuzeti CAPP sistemi, koji se nazivaju i varijantni CAPP sistemi, zasnivaju se na principima grupne tehnologije (GT), kao i na klasifikaciji i kodiranju delova. Kod ove vrste CAPP sistema, standardni plan procesa se čuva u računarskim datotekama za svaki bar kôd dela. Standardni planovi se baziraju na pripremama za upotrebu tekućeg dela unutar fabrike ili na idealnom planu procesa koji je pripremljen za svaku familiju proizvoda. Razvoj baze podatake ovih planova procesa zahteva veliki napor.



Slika 16.2. *Generalna procedura za upotrebu preuzetog CAPP sistema*

Preuzeti CAPP sistem funkcioniše kao što je prikazano na slici 16.2. Pre nego što sistem može da se koristi za planiranje procesa, mora da bude sastavljena značajna količina informacija i mora da se stupi u kontakt sa CAPP datotekama sa podacima. To je ono što se naziva pripremna faza. Sastoji se od (1) izbora odgovarajuće klasifikacije i šeme kodiranja za kompaniju, (2) formiranja familije delova za delove koji se prave unutar kompanije i (3) pripreme standardnih planova procesa za familiju dela. Koraci (2) i

(3) su u toku kada su dizajnirani novi delovi i kada se podaci o dizajnu dodaju u bazu podataka kompanije.

Kada je pripremna faza završena, sistem je spreman za upotrebu. Za nove komponente, za koje plan procesa treba da se utvrdi, prvi korak je da se genriše GT kodni broj za deo. Uz ovaj broj, korisnik pretražuje datoteke familije dela da utvrdi da li postoji standardna lista ruta za dati kôd dela. Ako data datoteka sadrži plan procesa za deo, taj plan se preuzima (odavde sledi reč "preuzeti" CAPP sistemi) i prikazuje korisniku. Standardni plan procesa se ispituje kako bi se utvrdilo da li su potrebne neke izmene. Može biti da, iako novi deo ima isti broj, postoje male razlike koje treba verifikovati u procesima. Korisnik uređuje procese u skladu sa standardnim planom. Ova sposobnost menjanja postojećeg plana procesa je ono što daje "preuzetom sistemu" alternativni naziv – varijantni CAPP sistem.

Ako datoteka ne sadrži standardni plan procesa za dati broj, korisnik može za vrši pretragu računarskih datoteka za slične ili srodne kodne brojeve za koje postoje standardne liste ruta. Korisnik, na taj način, priprema listu sa rutama, ili izmenom postojećeg plana procesa ili krećući od nule, za novi deo. Ova lista sa rutama postaje standardni plan procesa za novi kodni broj dela.

Krajnji korak u planiranju procesa je formatiranje istog, koji ispisuje liste sa rutama u odgovarajućem formatu. Program za formatiranje može da poziva i razne druge programske aplikacije u upotrebu, na primer, da odredi uslove mašinske obrade za različite sekvencijalne operacije mašine alatke, za izračunavanje standardnih ograničenja za operacije ili za procene troškova operacija.

16.2.2. Proizvodni (generativni) CAPP sistemi

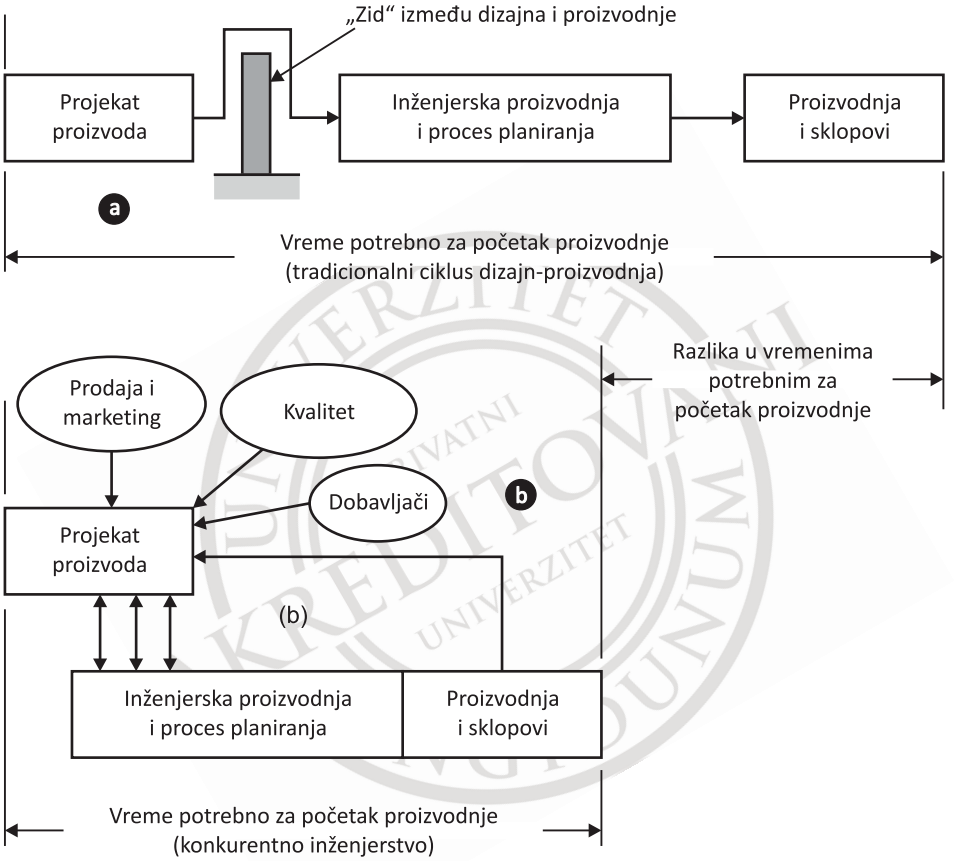
Generativni CAPP sistemi predstavljaju alternativni pristup za automatsko planiranje procesa. Umesto preuzimanja i izmena postojećeg plana koji se nalazi u bazi podataka računara, generativni sistem stvara plan procesa zasnovan na logičkim procedurama, sličnim onima koje koriste ljudski planeri. U potpuno generativnom CAPP sistemu planiranje procesa se obavlja bez ljudske pomoći i bez skupa unapred definisanih standardnih planova.

Projektovanje generativnih CAPP sistema se obično smatra delom iz oblasti ekspertskih sistema, grane veštačke inteligencije. Ekspertski sistem je računarski program koji je sposoban za rešavanje složenih problema koji obično zahtevaju godine ljudskog obrazovanja i iskustva. Planiranje procesa se uklapa u ciljeve ove definicije.

16.3. Konkurentni inženjering i dizajn za proizvodnju

Konkurentni inženjering predstavlja pristup koji se koristi u razvoju proizvoda u kojima su funkcije inženjerskog projektovanja, proizvodnog inženjeringa i druge funkcije integrisane, kako bi se smanjilo vreme potrebno da se donese novi proizvod na tržište. U tradicionalnom pristupu lansiranja novog proizvoda, dve funkcije – dizajnerski i proizvodni inženjering teže da budu odvojene i sekvencijalne, kao što je prikazano na slici 16.3a. Odeljenje za dizajn

proizvoda razvija novi dizajn, ponekad bez mnogo razmatranja proizvodnih mogućnosti kompanije. Malo je prilika dato proizvodnim inženjerima da ponude savete o tome kako bi trebalo projekat izmeniti da bi se lakše napravio. To je kao da postoji zid između dizajna i proizvodnje. Kada odeljenje dizajna završi posao, i kada "prebaci" crteže i specifikacije preko zida, tek onda planiranje procesa može da počne.



Slika 16.3. *(a) Razvoj proizvoda "kroz" tradicionalni inženjering; (b) razvoj proizvoda "kroz" konkurentni inženjering*

Nasuprot tome, u kompaniji koja praktikuje konkurentni inženjering, odeljenja proizvodnih inženjera postaju uključena u ciklus razvoja proizvoda u ranoj fazi, pružajući savete o tome kako proizvod i njegove komponente mogu da budu dizajnirani, kako bi se olakšala izrada i montaža. U ranoj fazi se nastavlja i sa planiranjem proizvodnje. Ovaj pristup konkurentnog inženjeringa je ilustrovan na slici 16.3b. Ciklus razvoja proizvoda obuhvata i kvalitet, proizvodna odeljenja, usluge, prodavce koji vrše snabdevanje kritičnim komponentama, a u nekim slučajevima, i korisnike koji će koristiti proizvod. Sve ove grupe mogu da doprinesu, tokom razvoja proizvoda, poboljšanju, ne samo funkcionisanja novog proizvoda i performansama, nego i lakšoj izradi, "komotnijoj" inspekciji, efikasnijem testiranju, opsluživanju i održavanju. Kroz rano uključivanje raznoraznih struka, za razliku

od tradicionalnog načina dizajniranja proizvoda, nakon što je kasno da se lako naprave bilo kakve promene, trajanje ciklusa razvoja proizvoda je znatno smanjeno.

Konkurentni inženjering obuhvata nekoliko elemenata: (1) dizajn za proizvodnju i montažu, (2) dizajn za kvalitet, (3) dizajn za cenu i (4) dizajn za životni ciklus. Pored toga, određene tehnologije, kao što su brza izrada prototipova, virtuelna izrada prototipova i organizacione promene, su neophodne kako bi se olakšao pristup konkurentnom inženjeringu u kompaniji.

16.3.1. Dizajn za proizvodnju i montažu

Procenjuje se da je oko 70% troškova životnog ciklusa proizvoda određeno donetim osnovnim odlukama prilikom dizajniranja proizvoda. Ove odluke o dizajnu obuhvataju izbor materijala za svaki deo, geometriju dela, tolerancije, završne površinske obrade, kako su delovi organizovani u podsklopovima i koje metode se koriste pri montaži. Nakon donetih odluka, sposobnost da se smanje troškovi proizvodnje je ograničena.

Termini koji se koriste za opisivanje takvih pokušaja da se povoljno utiče na lakšu izradu novog proizvoda su dizajn za proizvodnju (*Design for Manufacturing* – `DFM`) i dizajn za montažu (*Design for Assembly* – `DFA`). Naravno, `DFM` i `DFA` su neraskidivo povezani, pa može da se koristi i termin dizajn za proizvodnju i montažu (*Design for Manufacturing and Assembly* – `DFM/A`). Dizajn za proizvodnju i montažu podrazumeva sistematsko razmatranje proizvodnje i montaže u razvoju novog dizajna proizvoda. Ovo uključuje (1) organizacione promene i (2) dizajn ili projektovanje principa i smernica.

Organizacione promene u DFM/A. Efikasno sprovođenje `DFM/A` podrazumeva promene u organizacionoj strukturi, ili formalne ili neformalne, tako da se omogućava bliža interakcija i bolja komunikacija između personala zaduženih za dizajn i proizvodnju. Ovo se može postići na nekoliko načina: (1) formiranjem dizajnerskog (projektnog) tima čiji su članovi dizajneri proizvoda, inženjera iz proizvodnje i "osoblje" drugih specijalnosti u cilju razvoja novog dizajn proizvoda, (2) zahtevajući da projektanti (dizajneri) provedu neko vreme u karijeri u proizvodnji, kako bi se osvedočili iz prve ruke kako prozvodnja i montaža utiču na dizajn proizvoda i (3) dodeljivanjem proizvodnih inženjera odeljenju za dizajn proizvoda, povremeno, privremeno ili puno radno vreme, kako bi bili konsultanti po pitanju proizvodnje.

Principi dizajna i smernice. `DFM/A` se oslanja i na korišćenje principa dizajna i smernica kako bi se olakšala proizvodnja, a, takođe, i montaža. Neki od njih su univerzalne smernice za dizajn koji se mogu primeniti u gotovo svakoj situaciji pri dizajniranju proizvoda. U drugim slučajevima, postoje principi dizajna koji se odnose na specifične ili specijalne procese. Opšti principi i smernice u `DFM/A` su:

1. Smanjenje broja komponenti dovodi do:
    - smanjenja troškova montaže;
    - veće pouzdanosti finalnog proizvoda;
    - lakšeg rastavljanja (rasklpanja) na terenu i radi održavanja;
    - lakšeg uvođenja automatizacije kada je umanjen broj komponenti;

- smanjenja radnog ciklusa i smanjenja problema oko kontrole inventara; i
- smanjenja broja komponenti za kupovinu, a samim tim i do smanjenja troškova oko naručivanja neophodnih elemenata.

2. Korišćenje standardnih komercijalno dostupnih komponenti dovodi do:
   - smanjenja napora prilikom dizajna;
   - smanjenja broja delova;
   - moguće bolje kontrole zaliha;
   - izbegavanja dizajniranja specifičnih komponenti; i
   - mogućeg smanjenja kvantitativnih količina.
3. Korišćenje zajedničkih delova duž proizvodne linije dovodi do:
   - primene grupne tehnologije;
   - mogućeg smanjenja kvantitativnih količina; i
   - mogućeg razvoja proizvodnih ćelija.
4. Dizajn za laku izradu dovodi do:
   - korišćenja jednostavnih oblika i procesa, gde god je to moguće;
   - pojednostavljenja geometrije dela i izbegavanje nepotrebnih funkcija; i
   - izbegavanja da površine budu glatkije nego što je potrebno, kako bi se izbegle dodatne operacije i obrade.
5. Dizajn delova sa tolerancijama koje se mogu postići unutar dostupnog procesa dovodi do:
   - izbegavanja tolerancije koje ne mogu da se dostignu u procesu;
   - specificiranja bilateralnih tolerancija; i
   - izbegavanja dorade i škartova.
6. Dizajn proizvoda koji pospešuje lako sklapanje dovodi do:
   - kreiranja nedsvosmislenog sklopa;
   - dizajniranja komponenti tako da mogu da se montiraju samo na jedan način; i
   - primene specijalnih geometrijskih osobina komponenti kada je to neophodno.
7. Smanjenje fleksibilnih komponenti dovodi do:
   - smanjenja primene komponenti napravljenih od gume i kože, smanjenja primene zaptivki, električnih kablova i slično; i
   - lakšeg rada, jer su fleksibilne komponente, generalno gledajući, teže za rukovanje.

8. Dizajn za laku montažu dovodi do:
   - primene karakteristika delova, kao što su suženja i obaranje ivica, radi lakog uparivanja;
   - primene baznih delova na koje se dodaju ostale komponente;
   - upotrebe modularnog dizajna (naredne smernice);
   - dizajna sklopova koji se montiraju iz jednog pravca, obično vertikalno (ovo pravilo može da bude neodgovarajuće kod masovne proizvodnje kada se fiksira automatizacija za sklopove koji se montiraju iz više pravaca);
   - smanjenja upotrebe zavrtanja i navrtki, gde god je to moguće, posebno kada se radi o automatizovanoj montaži (trebalo bi koristiti brze tehnike spajanja, kao što je lepljenje);
   - smanjenja broja različitih zavrtnjeva.
9. Modularni dizajn dovodi do:
   - toga da svaki podsklop treba da se sastoji od $5 \div 15$ delova;
   - lakšeg održavanja, posebno na terenu;
   - lakše automatizacije procesa montaže;
   - smanjanja zahteva po pitanju inventara; i
   - smanjenja vremena finalne montaže.
10. Oblik delova i proizvoda za lakše pakovanje dovodi do:
    - kompatibilnosti sa automatizovanom opremom za pakovanje;
    - olakšane isporuke kupcima; i
    - upotrebe standardnih kutija za pakovanje.
11. Eliminisanje ili smanjenje prilagođavanja dovodi do:
    - smanjenja korekcije i kalibracije sklopova; i
    - minimiziranja potrebe za korekcijama i kalibracijama još tokom dizajniranja proizvoda, jer oduzimaju dosta vremena tokom montaže.

16.3.2. Ostali ciljevi dizajna proizvoda

Da bi se dovršila priča o konkurentnom inženjeringu, sledi kratko razmatranje drugih ciljeva dizajna – dizajn za kvalitet, cenu i životni ciklus.

Dizajn za kvalitet. Moglo bi se tvrditi da je DFM/A najvažnija komponenta konkurentnog inženjeringa, jer ima potencijal za najveći uticaj na cene proizvoda i vreme potrebno za razvoj. Međutim, značaj kvaliteta u međunarodnoj konkurenciji ne može biti sveden na minimum. Visok kvalitet se ne dešava sam od sebe. Procedure za to ostvarenje moraju biti osmišljene u toku dizajna proizvoda i planiranja procesa. Dizajn za kvalitet (*Design*

for Quaility – DFQ) odnosi se na principe i postupke zaposlenih kako bi se osiguralo da se "ugradi" najveći mogući kvalitet u dizajniran proizvod. Opšti ciljevi DFQ su: (1) dizajn proizvoda trebalo bi da zadovolji ili premaši zahteve kupaca, (2) dizajn proizvoda bi trebalo da bude "robustan", što znači da su njegove funkcije i performanse relativno neosetljive na varijacije u proizvodnji i kasnije primene i (3) stalno unapređenje performansi, funkcionalnosti, pouzdanosti i bezbednosti, kao i drugih aspekata kvaliteta proizvoda, kako bi se obezbedila superiorna vrednost za kupca.

Dizajn za cenu proizvoda. Cena proizvoda je glavni faktor u određivanju komercijalnog uspeha. Sveukupni troškovi utiču na cenu proizvoda i na profit kompanije koja ga proizvodi. Dizajn za cenu proizvoda (*Design for Product Cost* – DFC), odnosi se na napore kompanije da utvrdi koliko utiču odluke o dizajnu proizvoda na troškove i da se razviju načini za smanjenje troškova kroz dizajn. Iako se ciljevi DFC i DFM/A preklapaju u izvesnoj meri, jer lakša proizvodnja obično dovodi do niže cene, cilj dizajna za cenu proizvoda prevazilazi proizvodnju u svojoj potrazi za uštedama u troškovima. To uključuje troškove inspekcije, nabavku, distribuciju, kontrolu zaliha itd.

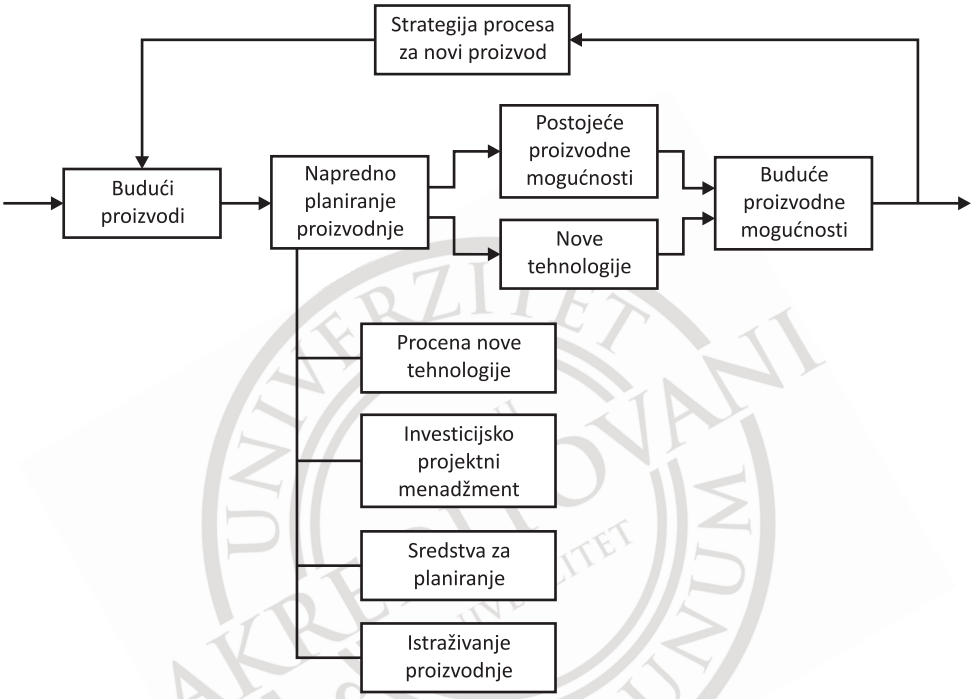
Dizajn za životni ciklus (vek). Za kupca, cena plaćena za proizvod može biti mali deo njegovih ukupnih troškova životnog ciklusa, kada se ti troškovi uzmu u obzir. Dizajn za životni ciklus se odnosi na proizvod, nakon što je proizveden i obuhvata faktore od isporuke proizvoda do njegove prodaje. Ostali faktori životnog ciklusa uključuju instalaciju i ugradnju, pouzdanost, pogodnost održavanja, opsluživanja i nadogradnju. Proizvođač je često u obavezi da ponudi ugovore servisima koji ograničavaju odgovornost kupca po pitanju troškova održavanja i servisiranja. U ovim slučajevima, precizne procene tih troškova životnog ciklusa moraju biti uključene u ukupne troškove proizvoda.

16.4. Napredno planiranje proizvodnje

Napredno planiranje proizvodnje naglašava planiranje za budućnost. To je na nivou korporativne aktivnosti koja se razlikuje od procesa planiranja, jer se bavi proizvodima koji se razmatraju u dugoročnim planovima kompanije ($2 \div 10$ godina u budućnost), umesto trenutno dizajniranih proizvoda koji su "lansirani" na tržište. Napredno planiranje proizvodnnje podrazumeva rad sa osobljem u prodaji, marketingu i dizajnu, u cilju prognoziranja novih proizvoda koji će biti predstavljeni i da se utvrdi šta će biti potrebno od proizvodnih resursa, kako bi se napravili ti budući proizvodi. Budući proizvodi mogu da zahtevaju proizvodne tehnologije i objekte koji nisu trenutno dostupni u okviru firme. U naprednom planiranju proizvodnje, trenutna oprema i postrojenja se upoređuju sa potrebama planiranih budućih proizvoda, kako bi se odredilo šta treba da bude instalirano od novih objekata. Opšti ciklus planiranja je prikazan na slici 16.4. Aktivnosti u naprednom planiranju proizvodnje obuhvataju 1) procenu nove tehnologije, (2) investiciono projektni menadžment, (3) sredstva za planiranje i (4) istraživanja proizvoda.

Procena i ocenjivanje nove tehnologije. Svakako da jedan od razloga koje preduzeće može da razmotri je mogućnost instaliranja novih tehnologija, jer proizvodne linije budućeg proizvoda i prateće metode procesa se trenutno ne koriste od strane kompanije. Da uvede nove proizvode, firma mora ili da primeni nove tehnologije za izradu "u kući" ili da kupi

komponente od eksternog dobavljača. Iz strateških razloga, može biti u interesu kompanije da interno instalira novu tehnologiju i razvija stručnost zaposlenih u toj tehnologiji, kao karakterističnu konkurentsku prednost za kompaniju. Ova pitanja moraju da se analiziraju, a procesna tehnologija mora biti veoma pažljivo procenjena, po pitanju mnogih faktora



Slika 16.4. *Ciklus naprednog planiranja proizvodnje*

Investiciono projektni menadžment. Potrebna ulaganja u nove tehnologije i novu opremu se, uglavnom, vrše od jednog projekta do drugog. Trajanje svakog projekta može da bude od nekoliko meseci do nekoliko godina. Rukovodstvo projekta zahteva saradnju između odeljenja finansija koje nadgleda isplate, proizvodnog inženjeringa koje pruža tehničku stručnost u proizvodnim tehnologijama, kao i drugih funkcionalnih oblasti koje su "vezane" za projekat. Svaki projekat treba, što je uobičajeno, da sadrži sledeći niz koraka: (1) predlog da se opravdaju neophodne investicije, (2) saglasnost za upravljanje se dodeljuje odeljenju za investicije, (3) prikupljanje ponuda od strane dobavljača ili proizvođača, (4) rang lista dobavljača ili proizvođača opreme, (5) monitoring proizvođača po pitanju napretka u izgradnji opreme, (6) naručivanje posebnih alata i pribora, ako je to neophodno, (7) oprema je instalirana i proverena, (8) operateri su obučeni i (9) odgovornost za upravljanje opremom je predata operativnom odeljenju.

Sredstva za planiranje. Kada je nova oprema instalirana u postojeći pogon, objekat mora biti promenjen. Određeni prostor u pogonu mora da bude dodeljen opremi, ostala oprema treba da bude premeštena ili uklonjena, komunalije (struja, toplota, svetlost, vazduh i slično) moraju biti povezani, sigurnosni sistemi moraju da budu instalirani, ako je

potrebno, kao i razne druge aktivnosti moraju biti ostvarene, kako bi se dovršila instalacija. U ekstremnim slučajevima, cela nova fabrika mora da bude osmišljena da bi se napravila i ugradila kompletno nova proizvedna linija ili da se proširi postojeća proizvodna linija. Planiranje potrebnih aktivnosti, kako bi se renovirao postojeći objekat ili dizajnirao novi, vrši inženjersko odeljenje postrojenja, ili je sličan naziv. U dizajnu ili redizajnu proizvodnog objekta, proizvodni i procesni inženjering moraju tesno da sarađuju kako bi ostvarili uspešne instalacije.

Istraživanje proizvoda i razvoj. Da bi se razvile potrebne tehnologije za proizvodnju, kompanija može da smatra da je neophodno preduzeti program istraživanja i razvoja proizvodnje (*Research and Development* – R&D). Istraživanje proizvodnje može imati različite oblike, uključujući i sledeće:

- Razvoj novih procesnih tehnologija. Ove aktivnosti istraživanja i razvoja uključuju razvoj novih procesa koji nisu nikada ranije bili korišćeni. Neke od procesnih tehnologija koje su razvijene za izradu integrisanih kola spadaju u ovu kategoriju.
- Adaptacija postojećih procesnih tehnologija. Proizvodni proces može da postoji, a da nikada nije korišćen za izradu određene vrste proizvoda od strane kompanija, a ipak se smatra da postoji potencijal za njegovu primenu. U ovom slučaju, firma mora da se angažuje u primenjenim istraživanjima za prilagođavanje procesa za svoje potrebe.
- Fino podešavanje procesa. Ovo aktivira istraživanje o procesima koje koristi preduzeće. Ciljevi date studija mogu biti bilo šta od sledećeg: (1) poboljšanje efikasnosti rada, (2) poboljšanje kvaliteta proizvoda, (3) razvoj modela procesa, (4) postizanje bolje kontrole procesa ili (5) utvrđivanje optimalnih uslova rada.
- Razvoj softverskih sistema. To su projekti koji uključuju razvoj specifičnih softvera povezanih sa proizvodnjom kompanije. Mogući razvojni projekti softvera mogu uključivati softver za procenu troškova, klasifikaciju i kodiranje delova sistema, CAPP, prilagođen CAD/CAM aplikativni softver, planiranje proizvodnje i kontrola, sistem za praćenje procesa rada i mnoge druge slične projekte. Uspešan razvoj softverskog paketa može kompaniji da dâ konkurentsku prednost.
- Razvoj sistema automatizacije. Ovi projekti su slični prethodnom, osim što se bave hardverom i kombinacijom hardvera i softvera. Primeri za ove vrste istraživanja su studije koje se odnose na primene industrijskih robota u firmi.
- Operaciona istraživanja i simulacije. Operaciona istraživanja uključuju razvoj matematičkih modela za analizu operativnih problema. Ove tehnike uključuju linearna programiranja, modele inventara, teorije čekanja i stohastičke procese. U mnogim problemima, matematički modeli su previše složeni da bi se rešavali u zatvorenom obliku, i u takvim slučajevima, simulacije diskretnih događaja se mogu koristiti za proučavanje operacija.

Istraživanje i razvoj proizvodnje (R&D) je primenjeno istraživanje. Cilj je da se razviju ili prilagode tehnologije ili tehnike koja će dovesti do većeg profita i prepoznatljive konkurentske prednosti za kompaniju.

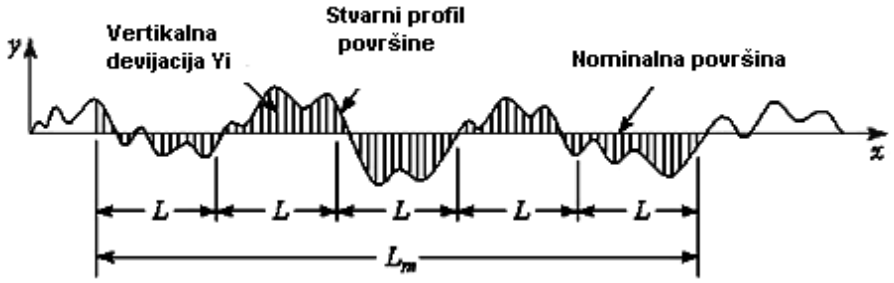
Glava 17

Tehnologije za kontrolu

U ovom poglavlju će biti predstavljena kratka i uopštena priča o tehnologijama za kontrolu i merenje.

17.1. Istorijski razvoj, cilj i značaj primene koordinatnih mernih mašina

Uloga merenja i inspekcije delova se menjala saglasno razvoju i uvođenja novih tehnologija u tehnološke sisteme. Sa razvojem industrije zadatak kontrole bio je da se obezbedi funkcija proizvoda, uz visoke tolerancije sastavnih delova. Uspostavljanjem koncepta serijske proizvodnje uveden je princip zamenjivosti delova, pri čemu je kontrola dobila novu ulogu (serijnost i povećanje tačnosti). Razvojem i uvođenjem novih obradnih sistema (transfer linije, mumerički upravljivih mašina – NUMA), povećana je tačnost, kompleksnost i fleksibilnost obrađenih delova. Kontrolom se identifikuje geometrijska tačnost obrađenog dela i parametri za upravljanje procesom obrade (podešavanje alata, parametri režima rezanja – hrapavost obrađene površine i slično), slika 17.1. Broj parametara obrade i kvaliteta koji ulazi u međusobnu korelaciju se povećava.



Slika 17.1. *Neravnine na površinama koje se obrađuju*

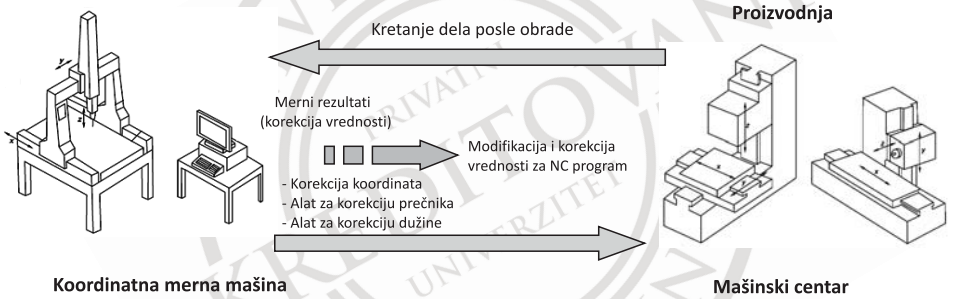
Merenje je sinonim za poređenje sa preciznim standardom, ako je moguće. Bez merenja ne možemo izvršiti nikakve korektivne mere. Pitanje koje se nameće je "Zašto merimo"?

Odgovor je relativno jednostavan: **samo merenjem, možemo oceniti tehničke procese i proizvode u nameri da izvršimo uticaje na njih**.

Primena konvencionalnih metroloških sistema i procedura koje ih podržavaju, postala je ograničavajući faktor u smislu fleksibinosti i tačnosti merenja. Poseban problem je metrološka identifikacija kompleksnih metroloških zadataka, kao što su, na primer, tolerancije oblika i položaja delova opisanih površinama slobodnog oblika.

Koordinatna metrologija je naučna disclipina dimenzione metrologije čiji primarni zadatak određivanje geometrijskih parametara objekta putem sukcesivnih nalaženja vrednosti koordinata zadatog broja tačaka objekta u izabranom koordinatnom sistemu i naredne obrade tih informacija. Akvizicija velikog broja vektora položaja prostornih tačaka vrši se koordinatnom mernom mašinom koja je numeričkim podacima. Provera geometrijske sličnosti modela za aerotunelska ispitivanja ima dva svoja aspekta.

Sistem računarski podržane inspekcije predstavlja zaokruženu celinu, ali se problem inspekcije geometrije modela posmatra izolovano, slika 17.2. Registrovani poremećaji iz proizvodnog procesa ne bi smeli da utiču na dalji tok tehnološkog postupka.



Slika 17.2. *Šematski prikaz položaja i uloge koordinatne merne mašine*

Postavljeni kriterijum je "šest sigma" (šest standardnih devijacija) i on zahteva da preko $99,5\%$ odstupanja budu u zadatim granicama. Cilj optimizacije proizvodnog procesa je krajnji kvalitet proizvoda sa miniziranjem ukupnog vremena izrade, za postojeću tehničko-tehnološku opremljenost.

Metode koordinatne metrologije ključni su elementi proizvodne metrologije u celokupnom lancu obezbeđenja kvaliteta proizvoda. Cilj inspekcije je:

- Verifikovanje matematičkog modela i razvijenih procedura merenja složenih prostornih oblika;
- Provera da li optimizovane procedure obezbeđuju proizvodnju bez defekata i odbacivanja;
- Određivanje brzine, efikasnost i pouzdanost u odlučivanju tokom upravljanja parametrima kvaliteta komformnosti proizvodnog procesa;
- Procena fleksibilnosti i mogućnost primene u ostalim proizvodnim oblastima (roba široke potrošnje, brodogradnja, instalacije nuklearnih postrojenja, specijalizovani merni sistemi, reverzibilno inženjerstvo,...).

Koordinatna metrologija ima primarni zadatak:

- Upravljanje tehnološkim postupkom izrade obezbedi proizvodnju bez defekata ili odbacivanja;
- Minimizira sva pripremno-završna vremena na koordinatnoj mernoj mašini;
- Unapređenje tehnoloških postupak proizvodnje;
- Poveća pouzdanost u odlučivanju i odabiru parametara svih operacija mašinske obrade;
- Skrati dugačko ukupno vreme izrade finalnog proizvoda.

Opravdanost uvođenja inspekcije na koordinatnoj mernoj mašini ogleda se u sledećim činjenicama:

1. Ekonomski efekat inspekcije se ogleda u činjenici da se kvalitet proizvoda dokazuje prihvatanjem izveštaja završne geometrijske inspekcije. Prihvatanjem izveštaja završava prva faza celokupnog projekta koja podrazumeva plaćanje od strane naručioca.
2. Izveštaji koji se daju na uvid moraju da budu jasni, uverljivi i da nedvosmisleno dokažu kvalitet modela;
3. Rokovi za projektovanje i proizvodnju proizvoda se skraćuju tako da se nameće potreba optimizacije tehnološkog postupka. Skraćenje ukupnog vremena izrade osnovni je imperativ savremene proizvodnje;
4. Procedure inspekcije, uz već postojeće, dobra su polazna osnova primenu standarda ISO 17025. Rad laboratorija prema ovom standardu će u budućnosti sve više biti uslov za sklapanje ugovora sa inopartnerima.

Pojam koordinata, koordinatnih sistema i vektora položaja datira sa početka XVII veka i vezuje se za francuskog filozofa i matematičara Rene Dekarta (*Rene Decartes*) koji je većinu svojih radova napisao pod pseudonimom *Renatus Cartesius*. S toga se pravougli koordinatni sistemi nazivaju Dekartovi ili Kartezijanski. Koordinatni sistemi imaju svoju jasnu analogiju sa orijentacijom na mapama.

Koordinatna metrologija je čvrsto utemeljena u savremenoj industrijskoj proizvodnji. Danas nema delova ni proizvoda koji se ne mogu izmeriti koordinatnim mernim mašinama. Klasične merne metode koje koriste Vernijerove instrumente (kljunasta merila, mikrometri, visinomeri), raportere, ide/ne ide račve, subitore i dalje imaju svoje mesto u proizvodnim procesima ali su potisnuti u drugi plan sve većom ekspanzijom koordinatne metrologije. Vernijerove klizne skale su jedna vrsta uvećanja podela analognog sistema merenja. Njihovo sve manje učešće u proizvodnim procesima je još jedan u nizu primera potiskivanja analognih sistema od strane digitalnih.

Veliki broj koordinatnih mernih mašina se uključuje u proizvodne procese: merne mašine, merni roboti, merne ruke. Danas je sve veća primena metoda koordinatne metrologije na

mašinama alatkama (glodalice, strugovi, brusilice) korišćenjem kontaktnih i beskontaktnih sondi. Primeni koordinatne metrologije u proizvodnji doprinela je i ekspanzija digitalnih sistema za projektovanje tj. CAD/CAM sistema.

Istorijski posmatrano, merenje i kontrola su predstavljali usko grlo proizvodnje. To je posebno dolazilo do izražaja kada se u tehnološke sisteme uvodila nova proizvodna oprema ili se povećavala kompleksnost proizvoda. Razvoj obradnih sistema, kao i računarske tehnologije, bili su od presudnog uticaja za razvoj novih generacija metroloških sistema, zasnovanih na elementima fleksibilne automatizacije.

Tehnologije merenja i kontrole čine integralni deo svake proizvodnje i po značaju koji im u proizvodnom procesu pripada ni malo ne zaostaju za tehnologijama obrade. Komparacijom razvoja obradnih sistema sa aspekta tačnosti obrade koja se njime može ostvariti i metroloških sistema kojima se za te metode obrade identifikuju parametri kvaliteta komfornosti koje možemo stalno usavršavati.

Razvoj složenijih tehnoloških struktura (NUMA) na bazi ovih sistema je uspostavio i nove koncepte i pravila za merenje i inspekciju. Povećanje kompleksnosti i fleksibilnosti, uz sve oštrije zahteve u smislu tačnosti danas se ogledaju u razvoju i primeni koncepta upravljanja kvalitetom komformnosti u realnom vremenu.

Danas se u naučno-stručnoj literaturi za oblast primene računara za kvalitet u CIM koriste sledeće skraćenice:

- CAQ – *Computer Aided Quality* (kvalitet podržan računarom),
- CQS – *Computer Quality System* (računarski sistem kvaliteta),
- CAI – *Computer Aided Inspection* (inspekcija računarom, planiranje i upravljanje kvalitetom pomoću računara) i
- CIQ – *Computer Integrated Quality* (računarom integrisani sistem kvaliteta).

17.2. Osnovni pojmovi o metrologiji i koordinatnom merenju

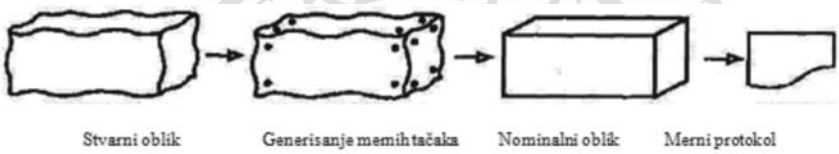
Izmeriti neku veličinu, znači utvrditi njen brojni odnos sa nekom drugom istorodnom veličinom, pri čemu je usvojena merna jedinica. Merenje se smatra procesom fizičkog izjednačavanja date veličine sa njenom fizičkom vrednošću koja je uzeta za jedinicu mere. Rezultat merenja se predstavlja kao kvantitativna informacija o osnovnim svojstvima mernog objekta, dobijena kao rezultat fizičkog procesa sa određenim stepenom tačnosti. Merenje je povezano sa određivanjem brojnih vrednosti fizičkih veličina uz pomoć kojih se ostvaruju zakonitosti pojava koje se ispituju. Problem mera i merenja je dosta kompleksan i njime se bavi nauka o jedinstvu mera i tačnosti merenja – metrologija.

Metrologija je nauka o merenjima, metodama i sredstvima obezbeđenja njihovog jedinstva i načina postizanja potrebne tačnosti. Metrologija se deli na opštu (teorijsku i eksperimentalnu) i primenjenu. Opšta metrologija se bavi fundamentalnim istraživanjima i stvaranjem

sistema mernih jedinica, etalona i fizičkih konstanti, dok primenjena metrologija rešava praktične probleme merenja. Metrologija se može podeliti na tri kategorije različitog nivoa složenosti i tačnosti:

- **Zakonska metrologija** – merenja u slučajevima kada utiču na transparentnost ekonomskih transakcija, zdravlje i bezbednost.
- **Naučna metrologija** – odnosi se na organizovanje i razvoj etalona kao i njihovo održavanje na najvišem nivou; i
- **Industrijska metrologija** – obezbeđuje adekvatno funkcionisanje merila koji se upotrebljavaju u industriji kao i u proizvodnim procesima i postupcima ispitivanja.

Proizvodna metrologija je deo industrijske (primenjene) metrologije koja se bavi tehnikom izvođenja merenja i izučavanjem skupa pravila, mernih uređaja i neophodnih mera za obezbeđenje potrebne tačnosti merenja.



Slika 17.3. *Postulat glatkosti - paradigma NUMM*

Realna geometrija proizvoda predstavlja stvarni oblik mernog predmeta, dobijen nakon obrade. Koordinatna metrologija, generišući koordinate tačaka na površini mernog predmeta stvara njegovu realnu geometriju.

Proizvodi na kojim se realizuje merenje i inspekcija na NUMM, određeni su idealnom (nominalnom) i realnom geometrijom. Idealna geometrija je definisana tehničkim crtežom ili CAD modelom mernog predmeta, a sa aspekta praktične primene (modeliranja, projektovanja, planiranja), ona se opisuje: tačkom, pravom, krugom, ravni, sferom, cilindrom, kupom, elipsom i torusom.

Tolerancije dužina, oblika, položaja, uglova i površinske hrapavosti (mikrogeometrija) obrađene površine se opisuju preko napred navedenih elemenata idealne geometrije, a one se mere (određuje njihova stvarna vrednost) i porede sa nominalnim vrednostima.

Koordinatno merenje predstavlja određivanje geometrijskih parametara proizvoda i/ili objekta putem sukcesivnih nalaženja vrednosti koordinata potrebnog broja tačaka objekta u izabranom koordinatnom sistemu i naredne obrade tih informacija. Pri izradi delova dimenzije moraju da obuhvate određenu toleranciju da bi se sklopovi nesmetano uklapali i funkcionisali. Osnovu savremene tehnologije čini zamenljivost delova po principu graničnih dimenzija nazvan i princip po Tejloru. Našao je najveću primenu u međunarodnim dokumentima iz ove oblasti. Primena ovog principa u ISO standardu glasi: *Za otvor prečnika najvećeg pravilnog zamišljenog cilindra koji može biti upisan u otvor tako što bi gustim kontaktom sa najvećim brojem dodirnih tačaka površi veličina sklopnih delova idealnog geometrijskog oblika prilagođenih otvoru bez zazora ne treba da bude manji od prethodne granične dimenzije. Najveći prečnik na nekom*

mestu otvora ne treba da prekorači neprolaznu graničnu dimenziju. Slično je i za vratila. Inspekcija pomoću merila po Tejloru mora se obavljati jednoznačno tj. uniformno. Uniformna kontrola kompleksnim prolaznim merilom realizuje se naleganjem na površinu. Za inspekciju elementarnim neprolaznim merilom (za glatki cilindar to je račva) potreban je beskonačni broj probnih spajanja da bi se proverilo da merilo ne prolazi ni na jednom mestu.

Praktično je nemoguće, probna spajanja se svode na neveliki broj oslanjajući se na tzv. **postulat glatkosti**. Regularna tehnologija obezbeđuje više ili manje čvrste veze na međusobnom bliskom rasporedu tačaka određene površine. Proverom dimenzija jedne zone možemo doneti zaključak i o susednim. Što je bliskost tih zona veća, tačnija je aproksimacija. Kod sistema koordinatnog merenja dobijene izolovane tačke ne mogu se neposredno porediti sa graničnim uzorkom i materijalizovanim merilima. Pri merenju neprolazne dimenzije cilindra (prikazanog lineranim sredstvima), na primer, meračem otvora (kalibar čep) dovoljno je maksimalni impuls sile pri svakom ravnom uzdužnom dodiru svesti na granični slučaj. Pri koordinatnom merenju neprolazne dimenzije neophodno je sravniti rastojanja među tačkama ako se sledi analogija sa kalibar čepom. Jednako, takvom paru tačaka pri merenju je potrebno odrediti osu otvora a pošto je nepoznata trebalo bi je pretpostaviti.

Merenje po prolaznoj dimenziji neophodno je izmeriti koordinate ravnomerno raspoređenih tačaka po površini, numerički upisati prilagođeni cilindar, odrediti njegov prečnik i uporediti ga sa graničnim. To je po postulatu glatkosti vrlo komplikovano. Ako bi pri koordinatnom merenju dimezija hteli da primenimo princip Tejlora imitacijom graničnih merila, najracionalnije bi bilo da se primeni postulat odsustva odstupanja od oblika. U procesima inspekcije oblika pretpostavlja se odsustvo parametra hrapavosti.

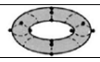
Zaključujemo da je pri kontroli otvora dovoljno izmeriti koordinate tri tačke i time omogućujemo određivanje njegovog prečnika i položaj centra. To su postulati prioriteta koji omogućavaju da svaki tip površine ili njihov presek bude predstavljen minimalnim mogućim brojem tačaka. Taj postulat odgovara osnovnom principu teorijske metrologije po kome, rezultat merenja predstavlja samo po sebi numeričko značenje parametra objekta dobijenog kao rezultat fizičkog eksperimenta merenja. Dobijeni parametri objekta upoređuju se sa odabranim modelom tako da u praksi ocena korektnosti merenja dobijenih rezultata zavisi i od izbora modela. Pri većoj disperziji izmerenih tačaka neophodno je povećanje njihovog broja i njihova ravnomernija distribucija po površni. Ovo doprinosi tačnijem usrednjavanju izračunatih parametara. Primer kruga dobro ilustruje ovaj slučaj. Opredeljenje da se prečnik i centar kruga na NUMM dobijaju preko četiri tačke na krajevima dve uzajamno normalne tetive, značajno ne uvećava ukupno vreme merenja u odnosu na minimalnu varijantu sa tri tačke. Matematička obrada svodi se na proračun prečnika i položaja centra u kombinaciji tri od četiri tačke i pronalaženju srednje vrednosti.

Geometrija mernog komada može biti određena različitim brojem mernih tačaka i ove tačke bi trebalo da pokrivaju ceo element. Zavisno da li na tim geometrijskim elementima merimo samo parametre oblika ili i odstupanja od idealnog geometrijskog oblika minimalni broj tačaka varira od neophodnog minimuma do preporučenog minimuma. Tabela 17.1. prikazuje neke osnovne geometrijske oblike: sfera, ravan, konus i neophodni broj tačaka.

Opšte pravilo glasi da je poželjno pokriti što je više moguće geometrijski element. Broj stepeni slobode elementa jednak je teorijskom minimumu potrebnom za njegovo definisanje.

Raspodela tačaka na merenom delu mora biti takva da omogući određivanje svih stepeni slobode. Za definisanje kruga dovoljne su tri tačke ali ne smeju biti kolinearne.

Tabela 17.1. *Preporučena distribucija tačaka*

Element	Teorijski minimum	Preporučeni minimum	Preporučena distribucija tačaka
Tačka	1	1	Srednja vrednost
Krug	3	4	
Ravan	3	4	
Sfera	4	6	
Cilindar	5	8	
Konus	6	12	
Parabola	6	9	
Torus	7	12	

Pri merenju većeg broja tačaka od teorijskog minimuma (broj stepeni slobode) potrebno je odrediti metod provlačenja idealnog geometrijskog oblika prema izmerenim tačkama. Tri najčešće korišćena metoda su date na slici 17.4.



Slika 17.4. *Metoda provlačenja idealnog geometrijskog oblika*

Metoda najmanjih kvadrata. Ova metoda poznata je još i kao Gausova. Potrebno je provući određenu formu tako da su kvadrati odstupanja mernih tačaka od izabrane forme minimalni ($\mathrm{d}_\mathrm{i}^2 < \mathrm{min}$). Ovo je jedan od opšte prihvaćenih metoda koji daje najrealističnije rezultate čak i kod malog broja izmerenih tačaka.

Metoda kontaktnih elemenata. Prema ovoj metodi po jedan idelizovani geometrijski oblik postavlja se sa obe strane izmerenih tačaka tako da dodiruje ekstremne tačke (minimum i maksimum). Na ovaj način se dobijaju dva geometrijska elementa: maksimalni

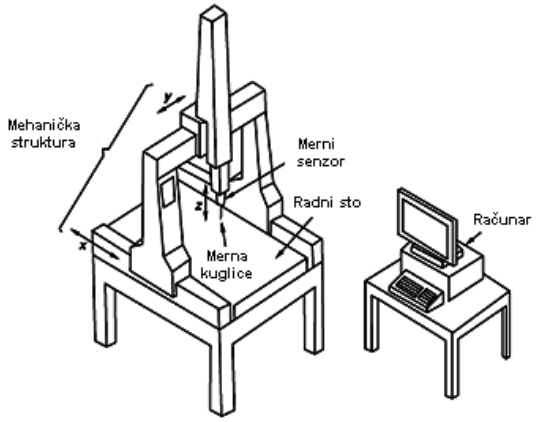
upisani (odgovarajući) element i minimalni opisani (odgovarajući) element. Na primeru kruga govorimo o maksimalnom upisanom krugu i minimalno opisanom krugu Ovako izračunata oba elementa nisu u obaveznim međusobnim odnosima tj. linije nisu paralelne krugovi nisu koncentrični. Metoda se relativno često primenjuje za površine čija obrada nije završena. U oba prethodno opisana metoda najboljeg podešavanja dovoljan je teorijski (neophodni) minimum izmerenih tačaka. Merna ponovljivost je slaba ako su izmerene tačke mnogo rasute.

Metoda minimalnog uslova poznata je još i kao Čebiševa. Ovom metodom se nalaze dva geometrijska elementa idealnog oblika ali za razliku od prethodno opisane metode, ovi elementi su u međusobno povezani. Ako se govori pravim linijama one moraju da budu paralelne, krugovi su koncentrični. Ako se radi o parametarskim krivama (na primer, kubni splajn) kažemo da su elementi međusobnom ekvidistantnom rastojanju. Prvi element koji se postavlja zavisi od zadate geometrijske forme uzima u obzir minimalni broj tačaka za svoje postavljanje. Drugi element uzima samo još jednu izmerenu tačku na suprotnoj strani. Zagrebanost površine ili korozija vrlo nepovoljno utiču na ponovljivost rezultata ove metode.

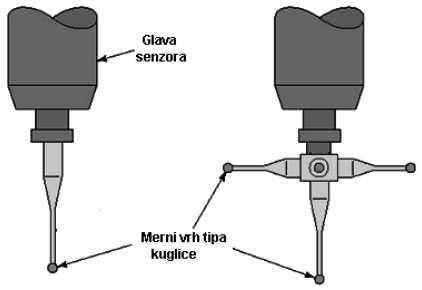
Ova metoda se uzima kao standardna za ocenjivanje odstupanja obrađenih površina od zadatog idealnog geometrijskog oblika.

17.3. Konstruktivna rešenja numerički upravljane merne mašine i vrste senzora

Numerički upravljane merne mašine (NUMM) imaju tri međusobno upravne ose X, Y, Z, slika 17.5. Svaka osa opremljena je preciznim mernim sistemom (mernom letvom) ili pretvaračem pozicije koji kontinualno snima pomeranje nosača u odnosu na fiksne reference. Pomeranja se, ili direktno prikazuju na pokazivaču pozicije ili se prosleđuju nadređenom računaru na obradu. Treća osa na svom nosaču ima merni senzor. Kada on dođe u kontakt sa tačkom na površini radnog dela očitavaju se pozicije na sve tri ose.



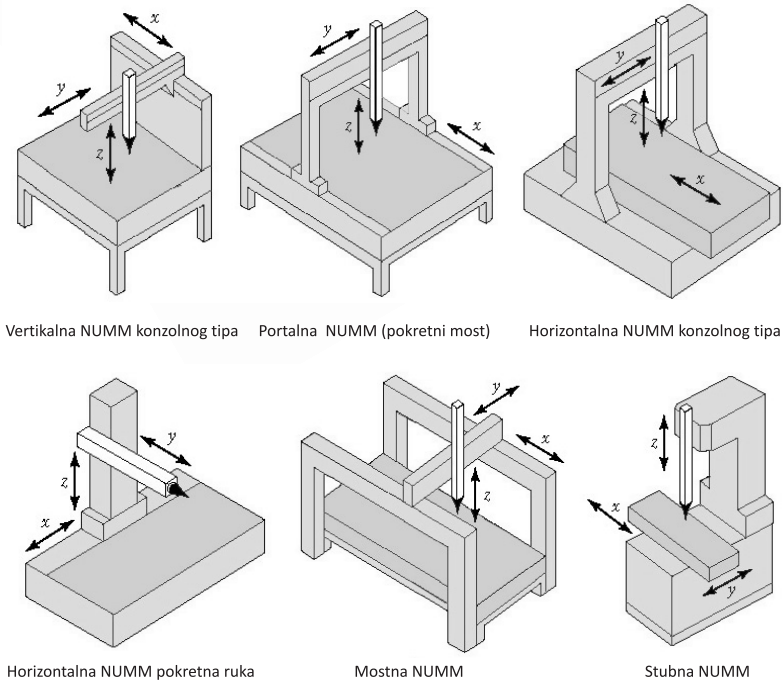
Slika 17.5. *Numerički upravljane merne mašine*



Slika 17.6. *Konfiguracija senzora*

Konstruktivna rešenja NUMM mogu biti vrlo različita ali im je zajedničko što svaka konfiguracija obezbeđuje kretanje mernog senzora duž tri ose, pomerajući se oko radnog komada. Radni prostor mašine je ograničen podovima duž osa X, Y, Z i zove se radna anvelopa. Nije neophodno da deo koji se meri, bude unutar radnog prostora. U velikom broju slučajeva pojedine zone radnog dela mogu biti izvan radne anvelope.

Mada je ANSI standardom definsano čak 10 konfiguracija, NUMM se mogu svrstati u 6 osnovnih tipova, slika 17.7 – vertikalna konzolnog tipa, portalnog tipa (pokretni most), horizontalna konzolnog tipa, horizontalna ruka, mostnog tipa i stubna.



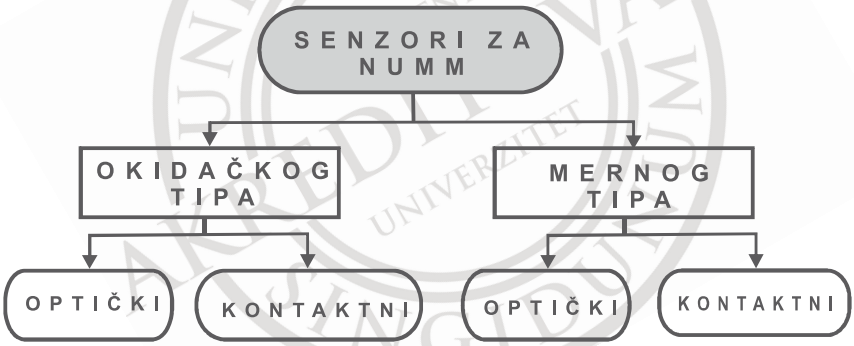
Slika 17.7. *Mehanička struktura NUMM*

Koordinatne merne mašine prema načinu rada se mogu podeliti u četiri kategorije:

1. ručni način,
2. ručni asistiran računarom,
3. motorizovan i potpomognut računarom, i
4. direktno upravljan računarom.

Termin "ručno" podrazumeva da operator mašine komandnim palicama upravlja kretanjima tj. motorima mašine.

Kasnije ova su pomeranja bila asistirana računarom. Nova NUMM (*DEA Epsilon*) je u potpunosti upravljana računarom. Merna sonda je "srce" operacija NUMM. Na savremenim mašinama mogu se naći različite vrste i tipovi mernih sondi. Ovi senzori mogu biti okidačkog tipa, što znači da generišu okidački signal nakon detekcije (optički ili dodirom) merene tačke, slika 17.8. Merni sistem NUMM daje koordinate tačke ali samo tokom kretanja mašine. Ovo je tzv. "dinamički merni princip".



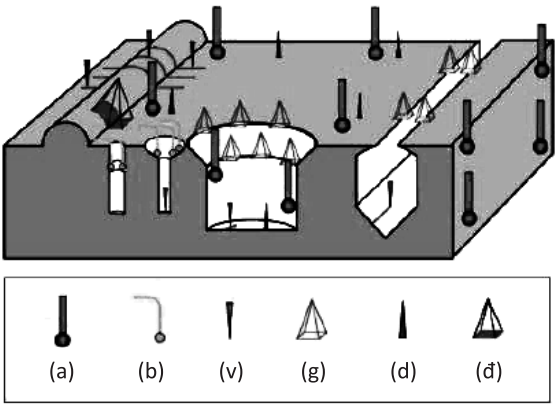
Slika 17.8. *Seznori za NUMM*

Senzori NUMM mogu biti i merni. Ova vrsta senzora ima interni rang merenja od nekoliko milimetara. Izmerene koordinate tačke se dobijaju superponiranjem mernih vrednosti sonde i koordinata koje generiše merni sistem cele NUMM. Ovo je tzv. "statički merni princip". Izmerene koordinate se mogu dobiti i kad mašina miruje sve dok je veličina koordinata unutar mernog opsega ovog senzora. Ovi merni senzori, takođe, mogu biti optički ili kontaktni. Podela na optičke i kontaktne senzore ukazuje na fizički princip prenosa osnovnog signala. Optički koriste svetlost na takav način da je moguće odrediti korespodentnu koordinatu.

Podela mernih senzora na jedno-dimenzione (1D), dvo-dimenzione (2D) i tro-dimenzione (3D) ukazuje na sposobnost senzora da prikuplja informacije sa jedne, dve ili tri koordinatne ose. To praktično znači da 1D laser ne može meriti cilindrične forme.

Sve je više NUMM sa dva ili više različitih tipova mernih sondi jer nisu svi tipovi pogodni za sve metrološke zadatke. Na slici 17.9 prikazana je primena različitih vrsta sondi za

različite metrološke zadatke: (a) mehanički pipak, (b) elastična sonda, (v) laser, (g) procesiranje slike, (d) optičko autofokusiranje i (đ) segmentiranje trodimenzionalnih površina na četiri granične krive.



Slika 17.9. *Tipične primene za različite vrste senzora*

Za povećanje fleksibilnosti u radu, kontaktne sonde (okidačke ili merne) su opremljene obrtnim glavama koje omogućavaju različite orijentacije u prostoru. Na tržištu postoji nekoliko proizvođača ovih obrtnih glava sa različitim konstruktivnim rešenjima. Najčešće korišćena je obrtna glava američkog proizvođača Renishaw u dve varijante sa oznakama PH-9 i PH-10. Ova glava omogućava obrtanje merne sonde (sa mernim pipkom) u dve ravni. Prva (A-osa) u kojoj može da rotira merna sonda je ravan koja sadrži osu montaže. A-osa može da zauzme 14 položaja ($0^\circ \to 105^\circ$ inkrementom $7,5^\circ$). Druga ravan rotacije, B-osa je upravna na osu montaže i dozvoljava definisanje 48 položaja ($0^\circ \to 360^\circ$ inkrementom $7,5^\circ$). Ukupan broj uglovnih položaja koje je moguće definisati je $14 \times 48 = 672$. Na NUMM obrtnu glavu je moguće montirati u 5 pravaca (npr. $+$X, $-$X, $+$Y, $-$Y, $-$Z). Šesti pravac je (npr. $+$Z) veza sa ostalim delovima NUMM. Ovih 5 pravaca montaže sa moguća 672 uglovna položaja daje $3\,360$ mogućih orijentacija u prostoru merne sonde sa mernim pipkom. Ovim uređajem je veoma podignuta fleksibilnost NUMM.



Slika 17.10. *Obrtna glava dve varijante sa oznakama PH-9 i PH-10*

17.4. Greške rezultata merenja

Kontrola kvaliteta izrade proizvoda je provera stepena bliskosti – "poklapanja" pokazatelja kvaliteta izrade sa zahtevima definisanim konstruktivno- tehnološkom dokumentacijom.

Kontrola sposobnosti tehnoloških procesa (proizvodne opreme) odrazumeva identifikovanje:

- indeksa potencijala (preciznosti):

$$C_p = \frac{T}{T_p} \geq 1,33$$

- indeksa sposobnosti (tačnosti):

$$C_{pk} = \frac{2 \cdot \Delta}{T_p} \geq 1,33$$

Svaki proces merenja praćen je neizbežnim greškama merenja. U zavisnosti od stepena znanja, sredstava merenja i uslova u kojima se sprovodi merenje različita je i veličina ovih grešaka. Rezultat svakog merenja javlja se kao funkcija dve nezavisne veličine, jedne koja odražava pravu vrednost merene veličine, i druge, koja predstavlja grešku njenog merenja. Prema tome, pod greškom merenja neke veličine treba smatrati razliku između rezultata merenja i prave vrednosti merene veličine, slika 17.11:

- $T = X_g - X_d$, mm – konstruktivnom dokumentacijom propisana tolerancija izrade;
- $T_p = 6\,\sigma$, mm – prirodna tolerancija koja se obezbeđuje datim procesom izrade
- σ, mm – standardna devijacija rasipanja rezultata višestruko ponovljene procedure merenja posmatrane dimenzije:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} \left(X_i - \overline{X}\right)^2}$$

- $\overline{X}$, mm – srednja aritmetička vrednost rezultata merenja:

$$\overline{X} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^{n} X_i$$

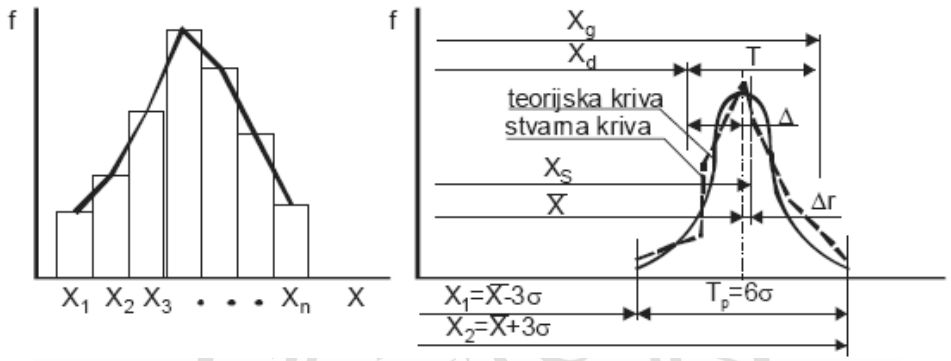
- X_i, mm – vrednosti pojedinačnih merenja;
- n – broj merenja;
- Δ, mm – minimalno rastojanje srednje aritmetičke vrednosti rezultata merenja i granica specifikacije (X_d, X_g);

- Δ_r, mm – veličina podešavanja:

$$\Delta_r = \left|\overline{X} - X_s\right|$$

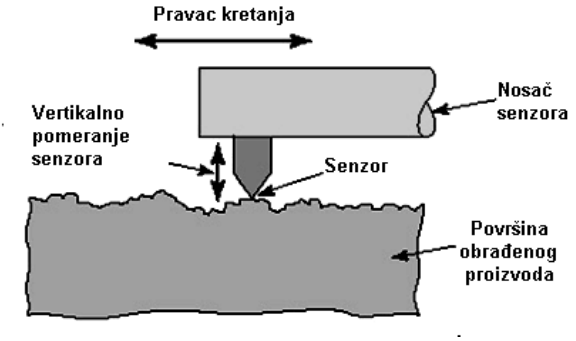
- X_s, mm – sredina tolerantnog polja:

Kontrola sposobnosti, očigledno, predstavlja kontrolu – tačnosti i stabilnosti tehnoloških procesa, prema unapred utvrđenim kriterijumima.



Slika 17.11. *Ilustracija postupka kontrole sposobnosti procesa*

U tehnici merenja prava vrednost merene veličine je nepoznata. Razlog tome je nesavršenost merila. Smanjenjem greške merenja, sve se više približavamo pravoj vrednosti merene veličine. Na slici 17.12 prikazana je putanja mernog instrumenta po obrađenoj površini.



Slika 17.12. *Putanja mernog instrumenta*

Klasifikacijom grešaka merenja prema određenim kriterijumima olakšava se njihova analiza, a takođe i matematička obrada rezultata merenja. Greške merenja mogu se podeliti prema: zakonomernosti nastajanja (sistematske, slučajne i grube greške), poreklu (subjektivne, uticaj okoline, greške uređaja, greške metode) i karakteru promene u vremenu (statičke i dinamičke).

17.4.1. Tačnost i preciznost merenja

Sa pojmom greške merenja neke veličine, direktno je povezana tačnost (T) i preciznost (P) merenja. **Tačnost merenja** podrazumeva se, u opštem slučaju, kvalitet ili valjanost merenja, tj. stepen bliskosti (slaganja) između rezultata merenja i prave vrednosti merene veličine. Tačnost merenja neke veličine je veća, ukoliko je manja greška merenja. Otuda se preko greške merenja kvantitativno izražava tačnost merenja date veličine.

Preciznost merenja definiše se ponavljanjem mernih rezultata, odnosno stepenom rasipanja ili uzajamnog podudaranja pojedinih mernih rezultata. Ti rezultati dobijeni su uzastopnim, višestrukim ponavljanjem merne operacije nad nekom mernom veličinom, čija je vrednost vremenski nezavisna (konstantna). To znači da je preciznost nekog merenja veća, ukoliko je manje međusobno rasipanje pojedinih vrednosti rezultata merenja u skupu rezultata ponovljenih merenja, ili ukoliko je međusobno podudaranje ovih vrednosti veće.

Može se zaključiti da je za potrebnu i dovoljnu tačnost, neophodna i odgovarajuća preciznost merenja. To ne važi za preciznost, jer se relativno visoka preciznost može postići i pri maloj tačnosti merenja.

17.4.2. Ponovljivost merenja

Ponovljivost je merna preciznost pod uslovima ponovljivosti. Merni rezultati su ponovljivi pod uslovima koji uključuju:

- istu proceduru merenja,
- istog posmatrača,
- isti merni instrument (opremu, mašinu),
- istu lokaciju i
- blizak vremenski period.

Ponovljivost se može kavatitativno izraziti merom rasipanja izmerene vrednosti. Standardna devijacija pod uslovima ponovljivosti je element tačnosti i preciznosti. Često u praksi, ponovljivost je dogovorena (ugovorena) granica dozvoljenih odstupanja izmerene vrednosti.

17.5. Merna nesigurnost

Merenje je nesavršeno, sa mnogim potencijalnim izvorima grešaka u rezultatu(ima). Koncept kvantitativne ocene merne nesigurnosti relativno je nov u dimenzionoj metrologiji. Merena veličina, čija vrednost nije tačno poznata, se smatra slučajnom promenljivom sa funkcijom raspodele verovatnoće. Klasičan pristup polazi od pretpostavke da merenjem određujemo pravu vrednost merene veličine i njene greške koje mogu biti slučajne ili sistematske prirode. Kako je praktično nemoguće odrediti pravu vrednost merene veličine, zbog nesavršenosti samog merenja i predmeta koji se meri, novi pristup nesigurnosti,

izostavlja termin "stvarna vrednost". U skladu sa definicijom razmatra interval u kome se sa određenom verovatnoćom ta vrednost nalazi. Taj interval koji obuhvata najbolju procenu merene veličine predstavlja zapravo mernu nesigurnost.

Merna nesigurnost je parametar pridružen rezultatima merenja karakterišući disperziju (rasipanje) vrednosti tako da razumno može biti pridodat merenoj veličini (mežurandu. Između ostalog, kroz ove definicije se objašnjava da nesigurnost rezultata merenja se sastoji od nekoliko komponenata, koje se mogu svrstati u dve kategorije prema načinu procene:

- primenom statističkih metoda i
- drugim načinima, sredstvima i u odnosu na referentne laboratorije (planovima uzorkovanja, iskustveno i sl.)

Standardna merna nesigurnost (*Standard Uncertainty*): Predstavlja svaku od uticajnih komponenti merne nesigurnosti ocenjenu standardnom devijacijom koja se uzima kao standardna merna nesigurnost.

Kombinovana standardna merna nesigurnost (*Combined Standard Uncertainty*): U obzir uzima sve komponente nesigurnosti i najčešće se računa kao kvadratni koren sume kvadrata svih uticajnih individualnih nesigurnosti.

Proširena merna nesigurnost (*Expanded Uncertainty*): Dobija se množenjem kombinovane standardne merne nesigurnosti faktorom proširenja. Ovako proširena merna nesigurnost definiše granice oko izmerene vrednosti unutar kojih se, sa velikom verovatnoćom, nalazi kvantitativna vrednost veličine. Proširena merna nesigurnost je interval (polje) poverenja za koji tvrdimo (verujemo sa velikom verovatnoćom 95%) da je oblast u kojoj se nalazi stvarna vrednost izmerene veličine.

Faktor proširenja (*Coverage Factor*) je umnožak kojim se mulitplicira kombinovana standardna merna nesigurnost da bi se dobio interval poverenja tj. proširena merna nesigurnost. Više puta je naglašeno da je broj uticajnih faktora na mernu nesigurnost veliki i nije isti za različite merne sisteme. Za oblast koordinatne metrologije uticajni faktori prikazani su Išikava dijagramom slika 17.15.

17.5.1. Termalni uticaji na mernu nesigurnost

Promene temperature su jedan od značajnih uticajnih faktora na rezultate merenja tj. na mernu nesigurnost. ISO definicije polaze od koeficijenta termičkog širenja koji ga definiše kao odnos promene dužine za izmerenu temeperaturu i referentnu temperaturu dela $\mathrm{T_0}$ od $20°\mathrm{C}$. Očekivana dužina $\mathrm{L_0}$, merenog dela svedena na referentnu temperaturu, izračunava se na osnovu izmerene dužine (dimenzije) dela $\mathrm{L_m}$, a za poznati koeficijent termičke dilatacije α, prema jednačini:

$$\mathrm{L_0} = \frac{\mathrm{L_m}}{1 + \alpha \cdot (\mathrm{T} - \mathrm{T_0})}$$

Koeficijent termičke ekspanzije nije konstata. Ovaj koeficijent se, za svaki deo, određuje eksperimentalno.

Za izračunavanje standardne merne nesigurnosti u_c, nezavisne ulazne promenljive su α i T.

$$u_c = \sqrt{\left(\frac{\partial L_0}{\partial \alpha}\right)^2 \cdot u^2(\alpha) + \left(\frac{\partial L_0}{\partial T}\right)^2 \cdot u^2(T)}$$

Promena temerature je jednaka $\Delta T = (T - T_0)$. Rešavanje jednačine pomoću izraza za promenu temperature daje sledeću jednačinu:

$$u_c = \frac{L_m}{1 + \alpha \cdot (T - T_0)} \cdot \sqrt{(T - T_0)^2 \cdot u^2(\alpha) + \alpha^2 \cdot u^2(T)}$$

Uz razumnu pretpostavku $1 + \alpha \cdot (T - T_0) = 1$ ova jednačina se može pojednostaviti:

$$u_c = L_m \cdot \sqrt{(T - T_0)^2 \cdot u^2(\alpha) + \alpha^2 \cdot u^2(T)}$$

17.5.2. Greške merenja složenih prostornih oblika

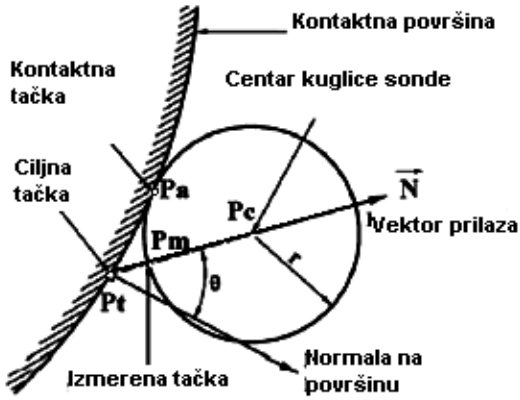
Na grešku merenja složenih prostornih oblika utiče veći broj faktora kao što su:

- tačnost mašine,
- tačnost mernih sondi,
- iskustvo i znanje operatera NUMM,
- uticaj sredine (temperaturna stabilnost merenog dela i sl),
- greška pozicioniranja dela u radnom prosotoru.

Pretpostavka je, da je NUMM kao i korišćene merne sonde kalibrisane, da je operator sa odgovarajućim znanjem i veštinama kao i da su uslovi sredine saglasni propisanim za rad. Najveći uticaj na tačnost procesa merenja ima greška pozicioniranja mašinskog dela ili sklopa. Trenutak kontakta kuglice merne sonde sa površinom dela koji se meri prikazan je na slici 17.13. Ciljna tačka P_t je tačka sa nominalnim koordinatama čije se merenje traži. Njene koordinate sa vektorom normale $[X_t\ Y_t\ Z_t\ I_t\ J_t\ K_t]$ dobijaju se sa CAD/CAM sistema. Ovaj vektor normale površine je pravac prilaza sonde prema površini. Nakon kontakta sonda se povlači na sigurnosno rastojanje u suprotonom smeru duž istog vektora.

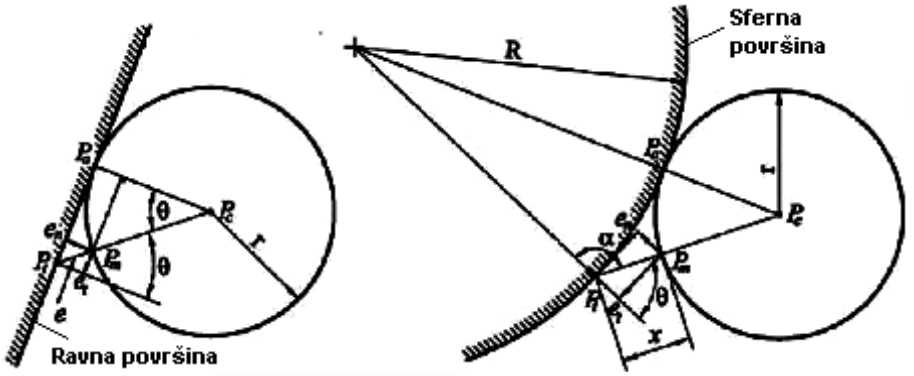
Kuglica sonde i površina dela su u kontaktu u tački, označenenoj sa P_a. NUMM registruje tačku P_c koja je centar kuglice merne sonde. Izmerena tačka P_m $[X_m\ Y_m\ Z_m]$ se dobija ofsetovanjem tačke P_c u pravcu vektora prilaza $[-N]$ za vrednost poluprečnika kuglice merne sonde, r. U slučaju poklapanja vektora prilaza/povlačenja sonde sa vektorom normale na povšinu, tačke P_t i P_m će biti identične.

To je jedan idelaizovani slučaj koji se u praksi nikad ne događa. U realnim situacijama uvek postoji uglovna razlika vektora normale na površinu i vektora prilaza merne sonde. Ugao između ova dva vektora je na slici 17.13. obeležen sa θ.



Slika 17.13. *Trenutak kontakta kuglice merne sonde sa površinom dela koji se meri*

Ocena (izračunavanje) greške merenja je važna koliko i sam proces merenja. Razmotrimo, za početak, da je površina kontakta ravan. Ugao θ sa slike 17.14. je ugao između vektora normale ravni i vektora prilaza/povlačenja kuglice merne sonde.



Slika 17.14. *Kontakta kuglice sonde sa ravnom i sfernom površinom dela koji se meri*

Razlika između ciljne (teorijske) tačke P_t i izmerene tačke P_m je greška merenja i na slici 17.14 je obležena sa e. Ova greška ima svoju tangencijalnu (e_t) i normalnu komponentu (e_n). Greške možemo izraziti relacijama:

$$e_t = r \cdot (tg\theta - sin\theta)$$

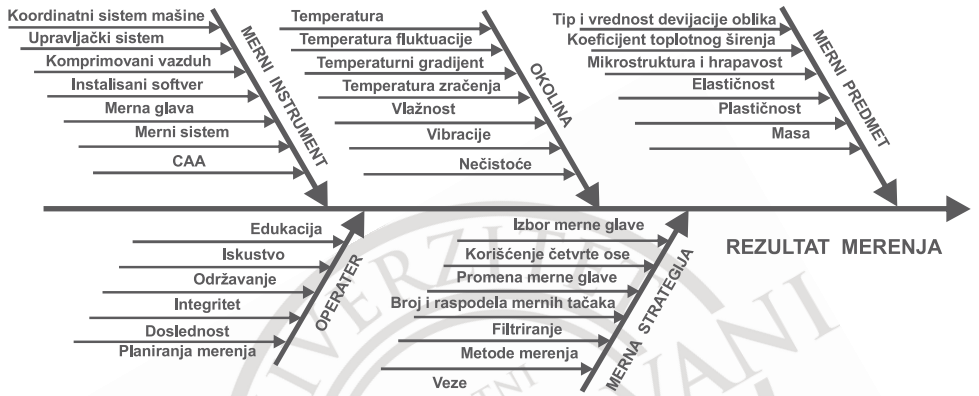
$$e_n = r \cdot (1 - cos\theta)$$

Ako je ugao θ jednak nuli onda ove dve komponente imaju vrednost nula. Takođe, ako je radijus kuglice merne sonde r, jednak nuli onda je greška merenja jednaka nuli. S obzirom na prirodu proizvodnog procesa, ugao θ nikad ne može biti jednak nuli.

17.6. Parametri kvaliteta NUMM

17.6.1. Uticajni faktori na rezultate merenja NUMM

Poznavanje uticajnih faktora i pronalaženje zakonitosti njihovih promena, omogućuje kompenzaciju greške merenja, odnosno korekciju rezultata merenja.



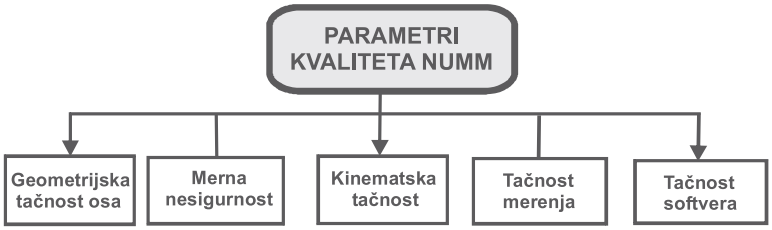
Slika 17.15. *Uticajni faktori na rezultat merenja u toku rada NUMM*

Kada se analiziraju uticaji na rezultat merenja kod NUMM, vidi se da su oni mnogobrojni, raznovrsni i vrlo često međusobno uvezani. Obuhvatnije i preglednije predstavljanje uticajnih faktora prikazuje slika 17.15.

17.6.2. Vrste parametara kvaliteta NUMM

Merne mašine predstavljaju složene mehatronske proizvode, koji imaju svoje parametre tačnosti. One se danas primenjuju za precizna merenja i inspekciju i najsloženijih delova, u metrološkoj laboratoriji, u pogonskoj metrološkoj labroratoriji i u pogonu (tehnološkoj liniji). Izložene su različitim uticajima (prašina, vibracije, vlažnost, temperatura) pa je potrebna provera njihove tačnosti ne samo pri proizvodnji i instalaciji već i tokom njene eksploatacije. NUMM imaju svoje karakteristične celine: noseća struktura, pogonski sistem, merni sistem, merni senzor, računarska podrška. Parametri geometrijske tačnosti izrade delova i pod sklopova NUMM odnose se na tolerancije dužina, položaja, oblika, uglova kao i na mikro geometriju obrađenih površina. Sva navedena nesavršenost proizvodnje delova se reflektuje na celokupnu tačnost mašine. S toga je neophodna kalibracija mašine radi podizanja njene tačnosti. Najčešće korišćena je tehnika parametarske kalibracije koja se zasniva na pojedinačnim merenjima odstupanja uticajnih faktora na rezultat merenja. Osim ove koriste se i tehnike "kinematskog referentnog standarda" i tehnika "prenosnog standarda".

Parametri geometrijske tačnosti osa koje se ispituju su pravoća osa, normalnost osa, zakretanje osa i osno pozicioniranje. Ove parametre definiše većina standarda za NUMM. Sistemska geometrijska odstupanja su sastavljena od odstupanja pojedinih osa i odstupanja međusobne normalnosti osa.



Slika 17.16. *Elementi parametara kvaliteta NUMM*

Tačnost mernih mašina predstavlja višedimenzionalni parametar, pa njeno utvrđivanje za korisnika, predstavlja ponekad težak posao Sve greške se mogu prikazati u sedam grupa tako da u svakoj grupi budu po tri greške: greške linearnog pozicioniranja, greške vertikalne pravoće, greške horizontalne pravoće, greške ugla valjanja, greške ugla nagiba, greške ugla skretanja i greške upravnosti.

17.7. Uticaj operatera na tačnost NUMM

Koordinatna metrologija ima kritičnu ulogu u oblasti obezbeđenja kvaliteta (QA) mašinske industrije. Operateri i programeri NUMM moraju posedovati znanja i veštine najvišeg nivoa radi izvršenja svih postavljenih zadataka na NUMM. Ono što je uočeno na nivou Evropske komisije da je su planovi i programi obuke veoma šaroliki i po obimu i po sadržaju. Iz tog razloga se pristupilo izradi programa obuke koji bi unificirao i izjednačio sve kurseve obuke u oblasti koordinatne metrologije. Prethodno izvršene analize su pokazale da su uticajni faktori u trouglu operator – okolina – mašina u odnosu $100 : 10 : 1$.

Neophodna znanja za korisnike NUMM su iz nekoliko oblasti – analitička i numerička geometrija, osnove metrologije, tehnička dokumentacija, tolerancije, CAD, proizvodnja i inženjerstvo, poznavanje NUMM (softver i hardver), poznavanje domaćih i međunarodnih standarda, poznavanje "Ekspert za NUMM" je najviši profesionalni nivo. Mora da bude sposoban da planira, programira i optimizuje merne sekvence za objekte bilo kakve složenosti i da na kraju vrši ocenu merne nesigurnosti. Dodatno mora da nadzire i kontroliše merenja, ostale operatore i njihov plan obuke. U tu svrhu trebalo bi da je obučen da koristi metode menadžmenta kvalitetom.

17.8. Uticaj okoline na tačnost NUMM

Različiti uticaji mikroklime i okoline (temperatura, vlažnost, prašina, buka, vibracije) smanjuju tačnost NUMM. Temperatura ima najveći uticaj na tačnost NUMM. Zbog toga su razvijeni modeli kompenzacije temperaturnih uticaja linearnog širenja mernih elemenata NUMM i mernog predmeta, u odnosu na nominalnu temperaturu od $20°\mathrm{C}$. Faktor temperaturne korekcije se računa preko sledećeg izraza:

$$\mathrm{L_{KX}} = (\mathrm{X_2} - \mathrm{X_1}) \cdot (\alpha_{\mathrm{ME}} \cdot \mathrm{T_{ME}} - \alpha_{\mathrm{MP}} \cdot \mathrm{T_{MP}})$$

gde su:

- L_{KX} – promena dužine mernog predmeta duž ose x, za koordinate X_2 i X_1,
- ME – koeficijent linearnog širenja materijala mernog elementa za osu x,
- T_{ME} – temperatura mernog elementa za osu x,
- MP – koeficijent linearnog širenja materijala mernog predmeta,
- T_{MP} – temperatura mernog predmeta.

Nove generacije NUMM imaju ugrađene senzorske sisteme za temperaturu i softver za automatsku kompenzaciju temperaturnih dilatacija elemenata noseće strukture i mernog predmeta.

Proizvođači NUMM svojim korisnicima daju sledeće preporuke za smanjenje negativnog uticaja temperature:

- mikro klimu prostorije u kojoj se nalazi NUMM treba održavati na propisanom nivou ($t = 20°C \pm 1°C$, temperaturna promena $0,5°\,C/h$, temperaturni gradijent $0,3°\,C/m$; vlažnost $50\% \pm 5\%$, bez buke prašine i vibracija), a ako ovo nije moguće onda treba voditi računa o sledećim preporukama,
- prostorija u koju se postavlja NUMM treba da bude locirana u sredini zgrade, tako da njeni zidovi i tavanica ne budu u kontaktu sa spoljnom atmosferom,
- ako merna prostorija ima prozore prema spoljnoj atmosferi, oni moraju biti dupli i okrenuti severu, odnosno zaštićeni od direktnog sunčevog zračenja, a unutrašnje površine sobe treba obojiti neutralnom bojom, grejna tela u prostoriji treba da budu izolovana i na najmanjem rastojanju od mašine jednakom njenoj najdužoj osi, vrata na njoj ne treba često otvarati, samo kada je to neophodno,
- za precizna merenja na NUMM potrebno je da merni predmet provede najmanje 24 časa u termostatičkoj sobi.

17.9. Standardi za prijem i kontrolu NUMM

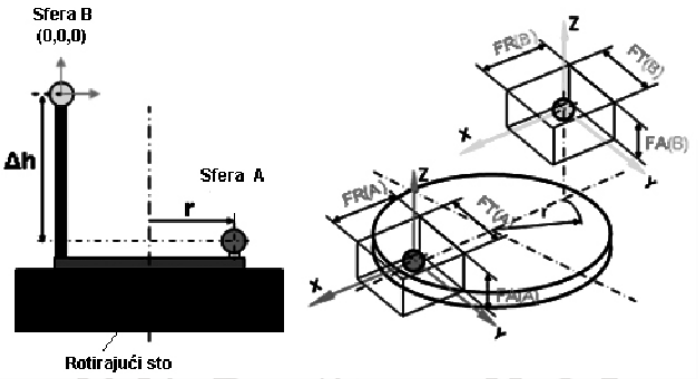
Brz razvoj NUMM zahtevao je pojavu i razvoj odgovarajućih standarda i propisa, pomoću kojih se vrši provera njenih parametara kvaliteta. Treba napomenuti da **ISO već obuhvata značajan broj standarda i to**:

- `ISO 10360` se odnosi na proveru performansi NUMM. Korisnicima omogućuje da lakše uporede mašine ako su podaci o njihovim performansama usaglašeni prema ovom standardu.
- `ISO 14253` definiše pravila odlučivanja za dokazivanje usklađenosti ili neusklađenosti sa preporukama i obezbeđuje informacije o proceni merne netačnosti.
- `ISO 15530` olakšava korisniku proces određivanja merne nesigurnosti na NUMM. Bavi se različitim tehnikama kao što su metod supstitucije i simulacioni metod.

- ISO/TS 23165 je još uvek tehnička specifikacija. Definiše odgovarajuće kriterijume za ocenu merne nesigurnosti NUMM.

Standard ISO 10360 je široko prihvaćen i sa strane korisnika i proizvođača, kao standard za prvu i sve naknadne provere NUMM. Standard je usvojen 1994. i do danas je pretrpeo nekoliko izmena i dopuna. Poslednja verzija standarda je iz 2000–2001. Standard je 2005. i 2007. pretrpeo manje izmene u načinu simboličkog označavanja i kodiranja grešaka po odgovarajućim osama

Ovaj standard definiše da merna nesigurnost korišćenih etalona ne sme biti veća od 20% deklarisane merne nesigurnosti NUMM čije se performanse proveravaju. Ovaj deo standarda definiše radijalnu grešku četvrte ose (FRr), tangencijalnu grešku (FT) i aksijalnu grešku (FA).

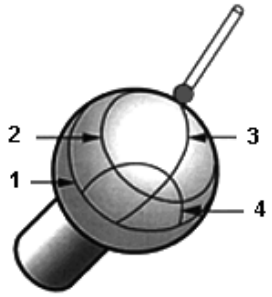


Slika 17.17. *Ispitivanje rotacionih osa NUMM prema ISO 10360*

Radijalna greška četvrte ose (FRr) je maksimum X (A ili B). Tangencijalna greška (FT) je maksimum Y (A ili B). Aksijalna greška (FA) je maksimum Z (A ili B).

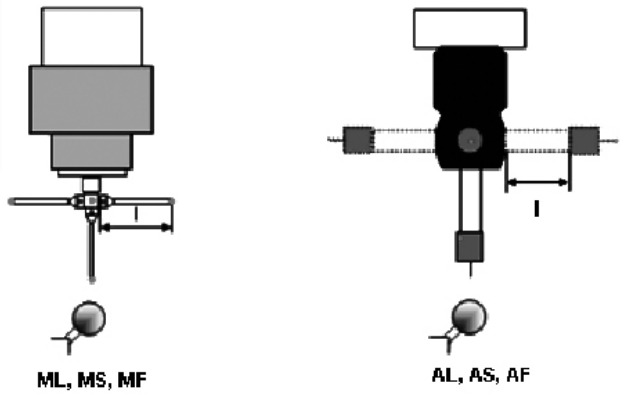
Deo standarda, ISO 10360-4 (2000) se odnosi na NUMM koja, osim skeniranja pojedinačnih tačaka nepoznatih krivih površina, mogu vršiti kontinualnu akviziciju koordinata tokom kretanja. Ova karakteristika se naziva "kontinualno skeniranje" ili "skeniranje velikim brzinama". Ovaj deo standarda se odnosi na NUMM sa ovakvim karakteristikama. Kalibraciona sfera prečnika 25mm se skenira u četiri preseka kako je to porikazuje slika 17.18. Potom se izračunavaju prečnici sfere od svih izmerenih krivih linija. Greška THP je rang svih radijusa ($\mathrm{THP} = \mathrm{R}_{max} - \mathrm{R}_{min}$). Specifikaciju ove greške mora obavezno da prati informacija o vremenskom intervalu merenja npr. $\mathrm{THP} = 1,5\,\mu\mathrm{m}$ za 45 sekundi. Ova greška je karakteristika 3D merenja oblika (pravost, ravnost, okruglost). Greška THP prikazuje performanse NUMM gusto skenirajući tačke po poznatoj površini. Očekuje se da će se ovaj standard proširiti definišući sledeće greške:

- TLP skeniranje poznatih oblika malom gustinom tačaka,
- THN skeniranje nepoznatih oblika visokom gustinom tačaka,
- TLN skeniranje nepoznatih oblika malom gustinom tačaka.



Slika 17.18. *Ispitivanje moda skeniranje prema ISO 10360*

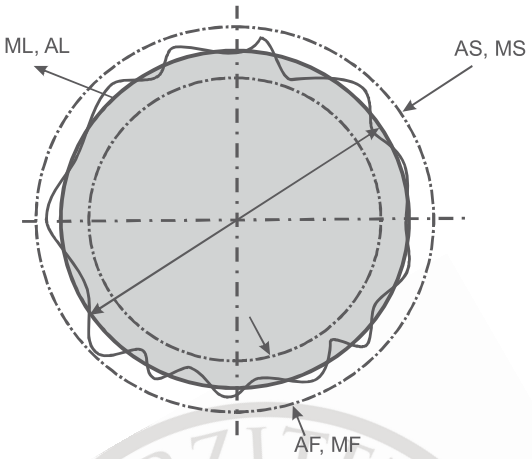
Deo standarda, ISO 10360-5 (2000.), odnosi se na ispitivanja tačnosti nosača mernih sondi. Koordinatnim mernim mašinama "alat" je merna sonda koja je, kod starijih modela, fiksna a kod novijih pokretna. Ovaj deo standarda opisuje ocenu greške sonde merenjem istog objekta različitim sondama bilo da su fiksne ili pokretne. Slika 17.19. prikazuje obe varijante merne sonde. Procedura je slična za oba slučaja. Ako se proveravaju fiksne merne sonde potrebno je konfigurisani 5 mernih pipaka, orjentisanih u svim pravcima ($+$X, $-$X, $+$Y, $-$Y, $-$Z). Ako je u pitanju motorizovana glava (na primer, Renishaw PH9/PH10) neophodno je izvršiti kalibraciju 5 položaja sonde, slika 17.19. Za određivanje ove greške potrebno je kalibracionu kuglu izmeriti sa 25 mernih tačaka što iznosi ukupno $5 \times 25 = 125$.



Slika 17.19. *Ispitivanje tačnosti 5 položaja mernih sondi prema ISO 10360*

Slede oznake za greške. M je fiksna višestruka merna glava, A je artikulisana (motorizovana, pokretna) merna glava, L (*Location*) je greška položaja, S (*Size*) je greška dimenzije i F (*Form*) je greška oblika. Odavde sledi:

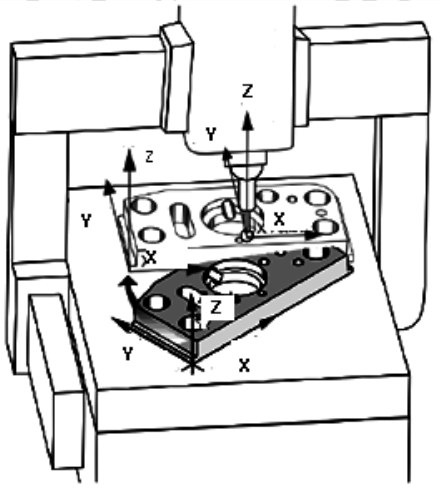
- ML/AL – maksimalni rang koordinata centara po X, Y, Z;
- MS/AS – devijacija izmerenog prečnika od svih 125 merenja;
- MF/AF – odstupanje oblika izračunate sfere od svih 125 tačaka.



Slika 17.20. *Greške moda skeniranja prema ISO 10360*

17.10. Koordinatni sistemi

Potpuno definisanje koordinatnog sistema inspekcije sastoji se od određivanja tri međusobno upravne ravni, čiji preseci predstavljaju koordinatne ose a zajednički presek koordinatni početak. Za potrebe koordinatne inspekcije delova neophodno je na dimenzionoj mernoj opremi (ovde svedena na NUMM) izmeriti referentne tipske oblike neophodne za uspostavljanje koordinatnog sistema inspekcije.



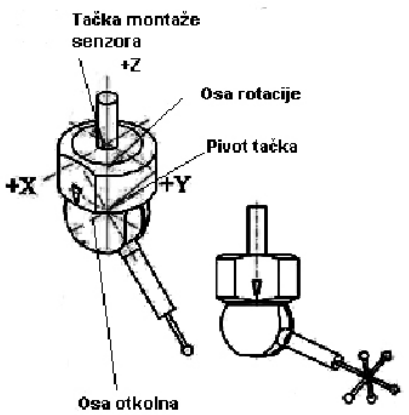
Slika 17.21. *Koordinatni sistemi NUMM*

Podešavanja koordinantog sistema inspekcije zahteva minimum tri koraka koji se najčešće zovu $3-2-1$ procedura:

- **Orijentacija primarne ose**. Vrši se prema pravcu nekog vektora. Najčešće se koristi neka izmerena ravan, mada može biti i osa nekog cilindra.
- **Podešavanje pravca sekundarne ose**. Neophodno je pronaći pravac merenjem stranice dela ili orjentaciju (na primer) izvršiti prema centrima prethodno izmerenih otvora.
- **Uspostavljanje koordinatnog početka za koji se bira tačka**. Ona može da bude ugao dela tj. presek tri stranice.

17.11. Merni senzori

Pri razvrstavanju dimenzione merne opreme glavna razlika je u vrstama korišćenih senzora. Informacioni sistem podržava različite vrste senzora i to: merne pipke, kamere, lasere, infracrvene senzore i H zrake. Dodatno, uz različite tipove mernih senzora podržane su različiti tipovi skeniranja. Za NUMM najčešće su korišćeni indeksirani merni senzori, kao na slici 17.22. Ove obrtne glave pozicioniraju merni pipak obrtanjem oko dve ose u prostoru: osa rotacije i osa otklona. Ove dve ose se seku u pivot tački u odnosu na koju se definše položaj (rastojanje) mernog pipka. Ovaj senzor ima tačku montaže čiji položaj mora biti precizno definisan u odnosu na merni sistem NUMM. Merni senzor ima svoj lokalni koordinatni sistem (X, Y, Z slika 17.22.) čija orjentacija vektora može, ali ne mora, da odogovara pravcima koordinatnih osa NUMM. U svakom slučaju ovaj odnos mora da se definiše jednoznačno.



Slika 17.22. *Senzori*

Glava 18

Planiranje proizvodnje i sistemi kontrole

Planiranje proizvodnje i kontrola (PPK) se bavi problemima na koje je naišla logistika u proizvodnji, to jest, upravljanje detaljima o tome šta, koliko i kada se proizvodi, kao i dobijanja sirovina, delova i sredstva za proizvodnju. PPK rešava ove probleme logistike upravljanjem informacijama. Računari su od suštinske važnosti za obradu ogromne količine podataka uključenih u definisanje proizvoda i proizvodne resurse, kao i za "pomirenje" tih tehničkih detalja sa željenim rasporedom proizvodnje. U stvarnom smislu, PPK je integrator u računarski integrisanoj proizvodnji.

Planiranje i kontrola u PPK moraju da budu međusobno integrisane funkcije. To je nedovoljno za planiranje proizvodnje, ako ne postoji u fabrici kontrola sredstava za postizanje plana. Pored toga, neefikasno je za kontrolu proizvodnje, ako ne postoji plan kojim će se uporediti napredak fabrike. Oba, planiranje i kontrola, moraju biti ostvareni i oni moraju biti međusobno koordinirani, uključujući u to i druge funkcije u proizvodnji, kao što je proces planiranja, konkurentni inženjering i napredno planiranje proizvodnje.

Planiranje proizvodnje se sastoji od (1) odluke koje proizvode bi trebalo proizvoditi, u kojim količinama, i kada bi proizvodnja trebala da bude završena, (2) rasporeda isporuke i/ili proizvodnja delova i proizvoda i (3) planiranja radne snage i resursa opreme koja je potrebna da se ostvari plan proizvodnje. Aktivnosti po pitanju planiranja proizvodnje uključuju:

- Ukupno planiranje proizvodnje. Ovo podrazumeva planiranje proizvodnje na izlaznim nivoima za glavne linije proizvoda proizvedenih od strane firme. Ovi planovi moraju da budu koordinisani između različitih funkcija u firmi, uključujući dizajn proizvoda, proizvodnju, marketing i prodaju.

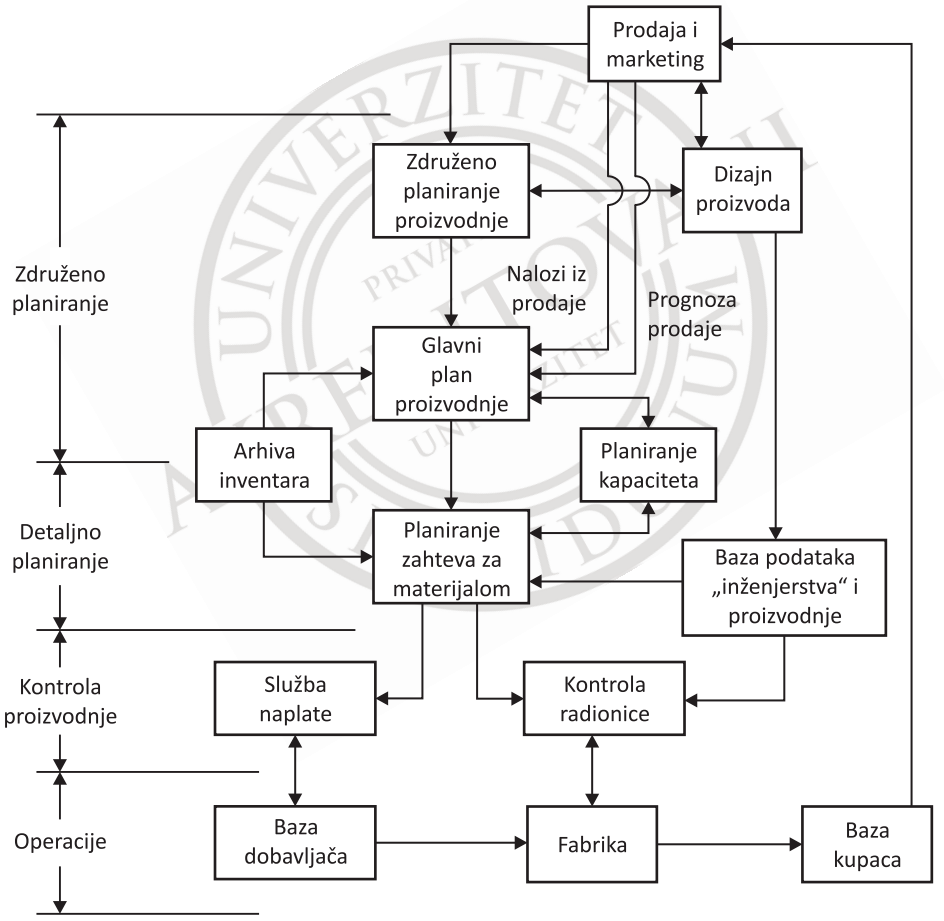
- Glavno planiranje proizvodnje. Plan ukupne proizvodnje treba da bude pretvoren u glavni raspored proizvodnje (GRP), koji je specifičan plan da se proizvede količina pojedinačnih modela u okviru svake proizvodne linije.

- Planiranje materijalnih zahteva (PMZ). PMZ je tehnika planiranja i obično je sprovodi računar, koji prevodi GRP krajnjeg proizvoda u detaljni plan za sirovine i delove koji se koriste u tim krajnjim proizvodima.

- Planiranje kapaciteta. Ovaj deo se bavi određivanjem potrebne opreme i radne snage kako bi se ispunio glavni raspored.

Aktivnosti planiranja proizvodnje dele se na dve faze: (1) ukupno planiranje, koje daje rezultate u GRP i (2) detaljno planiranje, koje uključuje i PMZ i planiranje kapaciteta. Ukupno planiranje obuhvata planiranje unapred šest meseci ili više, dok detaljno planiranje se bavi kraćim terminima (od jedne nedelje do nekoliko meseci).

Kontrola proizvodnje se sastoji od utvrđivanja da li su obezbeđeni neophodni resursi za sprovođenje plana za proizvodnju, a ako ne, pokušava da aktivira korektivne akcije za rešavanje nedostataka. Kao što samo ime sugeriše, kontrola proizvodnje obuhvata različite sisteme i tehnike za kontrolu proizvodnje i inventara u fabrici.



Slika 18.1. *Aktivnosti u PPK sistemu*

Aktivnosti u savremenim PPK sistemima i međusobni odnosi su prikazani na slici 18.1. Kao što se vidi na slici, PPK se na kraju proteže do baze dobavljača kompanije i baze klijenata. Ovaj prošireni obim PPK kontrole je poznat kao upravljanje lancom snabdevanja.

18.1. Ukupno planiranje proizvodnje i glavni (*master*) plan proizvodnje

Ukupno planiranje je aktivnost na visokom nivou korporativnog planiranja. Ukupan plan proizvodnje ukazuje na izlazne nivoe za glavne linije proizvoda kompanije. Ukupan plan treba da bude usklađen sa planovima za prodaju i odeljenjem za marketing. Budući da ukupni plan proizvodnje obuhvata proizvode koji su trenutno u proizvodnji, takođe moraju se uzeti u obzir i sadašnji i budući nivoi zaliha tih proizvoda i njihovih sastavnih delova. Budući da će novi proizvodi, koji su trenutno u razvoju, takođe biti uključeni u ukupnom planu, marketinški planovi i promocija aktuelnih i novih proizvoda moraju biti usaglašeni sa ukupnim kapacitetom resursa dostupnih unutar kompanije.

Količine proizvoda izrađenih na glavnim proizvodnim linijama navedenih u ukupnom planu moraju da budu pretvorene u vrlo specifičan raspored pojedinačnih proizvoda, poznat kao glavni plan proizvodnje – GPP (*Master Production Schedule* – MPS). To je spisak proizvoda koji će se proizvesti, kada treba da budu završeni i dostavljeni, i u kojoj količini. Na slici 12.6b prikazan je hipotetički GPP za neki proizvod koji je izveden iz odgovarajućeg ukupnog plana na slici 12.6a. Glavni plan mora biti zasnovan na preciznijoj proceni tražnje i realnim procenama proizvodnih kapaciteta preduzeća.

a

	Nedelja									
Proizvodna linija	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Linija M modela	200	200	200	150	150	120	120	100	100	100
Linija N modela	80	60	50	40	30	20	10			
Linija P modela							70	130	25	100

b

	Nedelja									
Proizvodna linija modela	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Model M3	120	120	120	100	100	80	80	70	70	70
Model M4	80	80	80	50	50	40	40	30	30	30
Model N8	80	60	50	40	30	20	10			
Model P1								50		100
Model P2							70	80	25	

Slika 18.2. *(a) Ukupni proizvodni plan i (b) odgovarajući GPP za zamišljenu proizvodnu liniju*

Proizvodi uključeni u GPP mogu se podeliti u tri kategorije: (1) narudžbina kupaca, (2) predviđanja potražnje i (3) rezervni delovi. Proporcije variraju u svakoj kategoriji za različita preduzeća, a u nekim slučajevima jedna ili više kategorije su izostavljene. Kompanije koje se bave proizvodnjom i sklapanjem delova, uglavnom, će morati da obrade sve tri vrste. U slučaju narudžbina kupaca određenih proizvoda, kompanija je obično u obavezi da isporuči predmet do određenog datuma koji je definisan u odeljenju prodaje. U drugoj kategoriji, izlazne količine iz proizvodnje su bazirane na statističkim tehnikama

predviđanja koje su primenjene na osnovu prethodnih obrazaca zahteva, procene od strane osoblja prodaje, kao i drugih izvora. Za mnoge kompanija, predviđanje potražnje predstavlja najveći deo glavnog (*master*) plan. Treća kategorija se sastoji od rezervnih delova koji će biti smešteni u specifičnim odeljenjima preduzeća ili će biti poslati direktno kupcu. Neke kompanije isključuju ovu treću kategoriju iz glavnog programa, jer ne predstavlja krajnji proizvod.

GPP se generalno smatra da bi trebalo da bude srednje "labav" plan, jer moraju da se uzmu u obzir rokovi za naručivanje sirovina i komponenti, proizvodnju delova u fabrikama, a zatim sklapanje krajnjeg proizvoda. U zavisnosti od proizvoda, rokovi mogu da variraju od nekoliko nedelja do nekoliko meseci, u nekim slučajevima, više od godinu dana. GPP, obično, pokušava da reši probleme u bliskoj budućnosti. To znači da promene nisu dozvoljene u roku od šest nedelja, zbog teškoća u prilagođavanju rasporeda proizvodnje u tako kratkom periodu. Međutim, prilagođavanja rasporeda su dozvoljena u roku od šest nedelja ako treba promeniti neke šablone ili ako treba uvesti nove proizvoda.

18.2. Planiranje materijalnih potreba

Planiranje materijalnih potreba – PMP (*Material Requirements Planning* – MRP) je računarska tehnika koja konvertuje glavni plan krajnjeg proizvoda u detaljni plan za sirovine i komponente koje koristi krajnji proizvod. Detaljni plan identifikuje količine za svaku sirovinu i stavku komponenti. Ovo, takođe, ukazuje na to da mora svaka stavka biti naručena i isporučena kako bi se ispunio glavni plan za finalne proizvode. PMP se često posmatra kao metoda kontrole inventara. To je i efikasno sredstvo za smanjenje nepotrebne investicije u inventar i korisna metoda u planiranju proizvodnje i kupovine materijala.

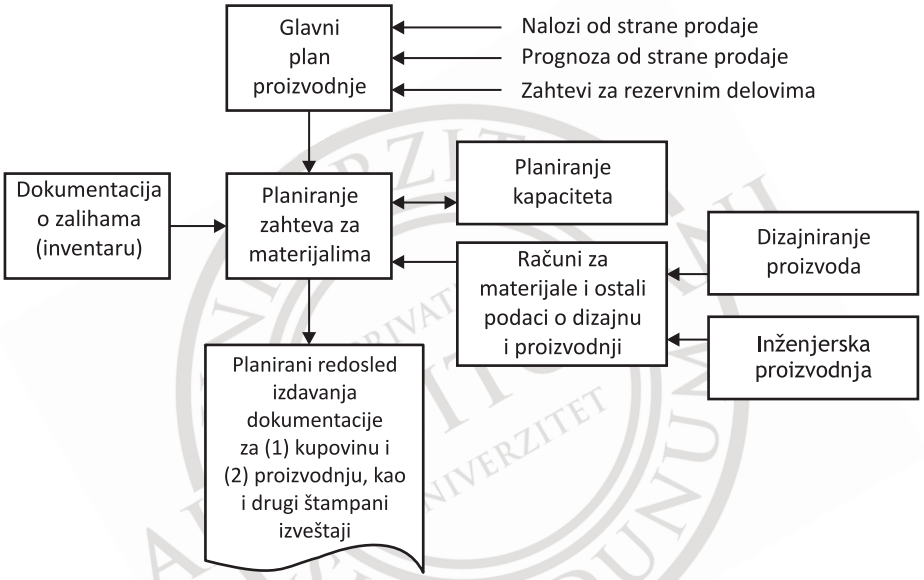
Razlika između nezavisnih i zavisnih zahteva potražnje je važna u PMP. Nezavisni zahtev znači da je potražnja za proizvodom povezana sa potražnjom za drugim stvarima. Finalni proizvodi i rezervni delovi su primeri stavki čiji je zahtev nezavisan. Obrasci nezavisne potražnje moraju biti, obično, prognozirani. Zavisan zahtev znači da je potražnja za artiklom direktno vezana za zahtev za nekim drugim artiklom, obično finalnim proizvodom. Ovakva zavisnost obično proizilazi iz činjenice da su stavke sastavni deo drugih proizvoda.

PMP koncept je relativno jednostavan. Njegova primena je komplikovana i to, obično, zbog obima podataka koji se obrađuju. Glavni plan predviđa ukupan proizvodni plan gotovih proizvoda u pogledu isporuka, jedan po jedan mesec. Svaki proizvod bi mogao da sadrži na stotine pojedinačnih komponenti. Ove komponente su proizvedene od sirovina, od kojih su neke uobičajene među komponentama. Na primer, neke komponente mogu biti sastavljene od istog čeličnog lima. Komponente su sklapaju u jednostavne podsklopove i podsklopovi se sastavljuju u složenije podsklopove itd., sve do sklopljenog finalnog proizvoda. Za svaki korak u proizvodnji i montaži potrebno je vreme. Iako je svaki proračun jednostavan, obim podataka je tako veliki da je primena PMP-a praktično nemoguća, osim računarskom obradom.

Sledi ispitavanje ulaza u PMP sistem. Nakon toga, sledi opis kako PMP radi, kako se generišu izlazni izveštaji od strane PMP izračunavanja, i na kraju koje su dobre i loše stvari verifikovane kroz primenu PMP sistema u industriji.

18.2.1. Ulaz u sistem planiranja materijalnih potreba

Da bi funkcionisao, PMP program treba da ima dostupne podatke koji su sadržani u nekoliko datoteka. Ove datoteke služe kao ulaz u PMP procesor. Ti podaci su (1) raspored glavne proizvodnje, (2) datoteka sa podacima o materijalima i druge datoteke sa inženjerskim i proizvodnim podacima i (3) datoteka sa podacima o inventaru. Slika 18.3 ilustruje protok podataka u PMP procesoru i pretvaranje u korisne izlazne izveštaje. U pravilno implementiran PMP sistem, planiranje kapaciteta, takođe, obezbeđuje ulaz kako bi se osiguralo da PMP raspored ne prelazi kapacitet proizvodne firme.

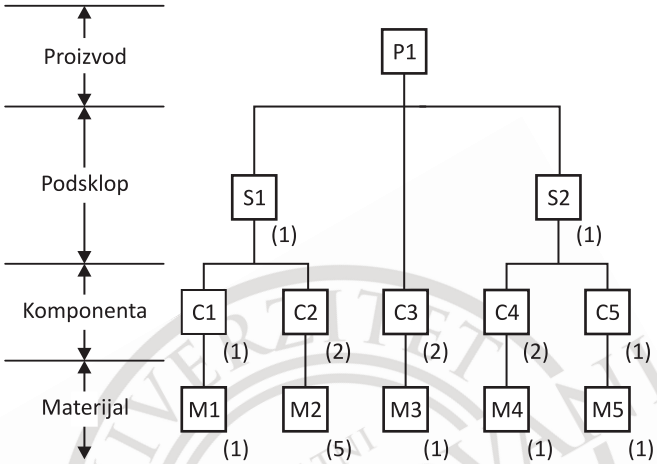


Slika 18.3. *Struktura PMP sistema*

PMP navodi koji su krajnji proizvodi potrebni i koji broj, svakog od njih, treba proizvesti i kada treba da budu spremni za isporuku, kao što je prikazano na slici 18.2b. Proizvodne firme, uglavnom, rade isporuke po mesečnom rasporedu, ali je glavni raspored na pomenutoj slici koristi nedelje kao vremenske periode. Bez obzira na trajanje, ovi vremenski periodi se nazivaju vremenske zone u PMP. Umesto da se vreme tretira kao kontinualna promenljiva (koje, naravno, to i jeste), PMP odrađuje svoje proračune materijala i delova u terminima vremenskih zona.

Fajl sa predlogom potrebnog materijala (*Bill of Materials* – BOM) pruža informacije o strukturi proizvoda, spisku sastavnih delova i podsklopova koji čine svaki proizvod. Koristi se za izračunavanje sirovina i komponenti za potrebe krajnjih proizvoda navedenih u glavnom rasporedu. Struktura sklopljenog proizvod može se ilustrovati kao na slici 18.4. Ovo je mnogo jednostavnije od većine komercijalnih proizvoda, ali po svojoj jednostavnosti će poslužiti svrsi. Proizvod P1 se sastoji od dva podsklopa, $S1$ i $S2$, gde je svaki od njih sastavljen od komponenti C1, C2 i C4, C5, respektivno. Komponenta C3 direktno se ugrađuje u završni proizvod. Konačno, na najnižem nivou su sirovine koji "idu" u svaku

komponentu. Svaka stavka višeg nivoa se zove roditelj stavke koja se nalazi na nižem nivou. Na primer, S1 je roditelj C1 i C2. Ova proizvodna struktura mora da navede broj svakog podsklopa, komponente i sirovine koji idu kod svog odgovarajućeg roditelja. Ovi brojevi se prikazuju u zagradama kao što je prikazano na slici 18.4.



Slika 18.4. *Proizvodna struktura za deo P1*

Datoteka za zapisanim potrebnim zalihama (inventarom) naziva se jedinična glavna datoteka u računarski vođenom sistemu zaliha ili inventara. Vrste podataka, koje su sadržane u zapisu o zalihama, su podeljene u tri segmenta:

1. Jedinični glavni podaci. Ovo omogućava identifikaciju predmeta (broj dela) i druge podatke o delu, kao što su porudžbine i rokovi.

2. Stanje inventara. Ovo daje, u određenom vremenskom periodu, zapise o statusu inventara. U PMP je važno da se zna ne samo trenutni nivo zaliha, već i sve buduće promene koje će se pojaviti u odnosu na popis. Dakle, segment posvećen statusu inventara izlistava bruto uslove za svaku stavku, zakazane rasporede, trenutne statuse i planirane isporuke, kao što je prikazano na slici 18.5.

3. Pomoćni podaci. Treći segment datoteke obezbeđuje pomoćne podatke kao što su nalozi za kupovinu, da li deo može da se popravi ili se odbacuje, itd.

Period		1	2	3	4	5	6	7
Deo: **Sirovina M4**								
Glavni zahtevi								
Planirani prihodi				**40**				
"Pri ruci"	**50**	**50**	**50**	**90**				
Neto zahtevi								
Planirana narudžbina								

Slika 18.5. *Trenutni status inventara*

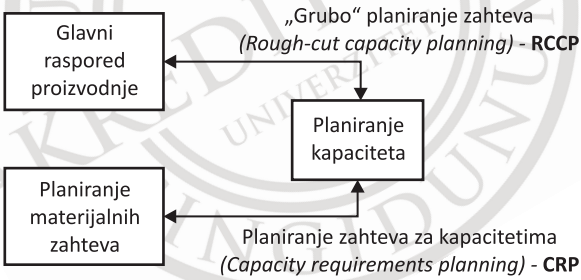
18.2.2. Kako sistem za planiranje materijalnih potreba radi?

PMP procesor radi sa podacima sadržanim u PMP-u, u BOM datoteci, kao i sa podacima o statusu zaliha (inventara). Glavni plan određuje listu po periodima potrebnim za izradu finalnih proizvoda, BOM definiše koji su materijali i komponente potrebni za svaki proizvod i podaci o zalihama daju trenutne i buduće statuse inventara za svaki proizvod, komponentu i materijal.

PMP procesor računa koliko je svake komponente i sirovina potrebno od svakog perioda kada je najveća potražnja (kada je najintezivnija proizvodnja) do perioda na kraju kada su zahtevi, na sukcesivno nižim nivoima u proizvodnoj strukturi, manji.

18.3. Planiranje kapaciteta

Originalni PMP sistem je u stanju da napravi rasporede koji nisu nužno u skladu sa proizvodnim kapacitetima i ograničenjima fabrika gde se obavlja proizvodnja. U mnogim slučajevima, PMP sistem je razvijao detaljan raspored na osnovu glavnog plana proizvodnje, što je bilo nerealno. Uspešan raspored proizvodnje mora uzeti u obzir proizvodne kapacitete. U slučajevima gde je trenutni kapacitet neadekvatan, firma mora da pravi planove za promene kapaciteta kako bi zadovoljila promenljivu proizvodnju čiji su zahtevi definisani u rasporedu.



Slika 18.6. *Dve faze planiranja procesa*

Planiranje kapaciteta se, obično, ostvaruje u dve faze, kako je to već prikazano na slici 18.6 – prva, kada je PMP uspostavljen i druga, kada se radi PMP izračunavanja. U PMP fazi, "grubo" planiranje zahteva (*Rough-Cut Capacity Planning* – RCCP) se pravi da se proceni izvodljivost glavnog plana. Takav obračun pokazuje da li postoji značajno kršenje proizvodnih kapaciteta u PMP. S druge strane, ako obračun pokazuje da nema prekoračenja kapaciteta, onda nema ni garancija da se proizvodni raspored može ispuniti. To zavisi od raspodele radnih naloga za određene radne pogone u fabrici. Shodno tome, drugi obračun kapaciteta se vrši u isto vreme kada se vrši priprema PMP rasporeda. Ovaj detaljan obračun, nazvan planiranje zahteva za kapacitetima (*Capacity Requirements Planning* – CRP) određuje da li ima dovoljno proizvodnih kapaciteta u pojedinim odeljenjima i radnim pogonima kako bi se završili određeni delovi i sklopovi koji su zakazani od strane PMP-a. Ako raspored nije kompatibilan sa kapacitetom, tada kapacitet fabrike ili glavni plan treba da se podese.

Prilagođavanja kapaciteta se mogu podeliti na kratkoročne korekcije i dugoročna prilagođavanja. Sposobnost prilagođavanja za kratkoročne korekcije uključuju sledeće:

- Nivoi zapošljavanja. Zapošljavanja u fabrici mogu se povećavati ili smanjivati kao odgovor na promene u zahtevima kapaciteta.
- Broj privremenih radnika. Povećanja nivoa zaposlenosti se mogu postići pomoću radnika iz privremenih agencija. Kada je "opterećeno" vreme prošlo i kada nema više potrebe za angažovanjem privremenih radnika, ti radnici mogu da pređu na pozicije u drugim firmama u kojima su potrebne njihove usluge.
- Broj smena u određenom periodu. Broj radnih smena u datom proizvodnom periodu može da se povećava ili smanjuje.
- Broj radnih sati. Broj sati rada u jednoj smeni može biti povećan ili smanjen, kroz korišćenje prekovremenog rada ili smanjenja sati.
- Nagomilavanje zaliha (inventara). Ova taktika može da se koristi kako bi se održao stabilan nivo zaposlenosti u vremenskom periodu kada je mala potražnja.
- Naručivanje za zalihe. Isporuke proizvoda kupcima može da kasne tokom perioda kada je proizvodnja nedovoljna, kako bi išli u korak sa potražnjom.
- Opterećenje preko podugovora. Ovo uključuje najam radne snage tokom "prometnog" perioda, uzimajući u obzir opterećenje tokom "labavog" perioda (kada nije maksimalno opterećenje).

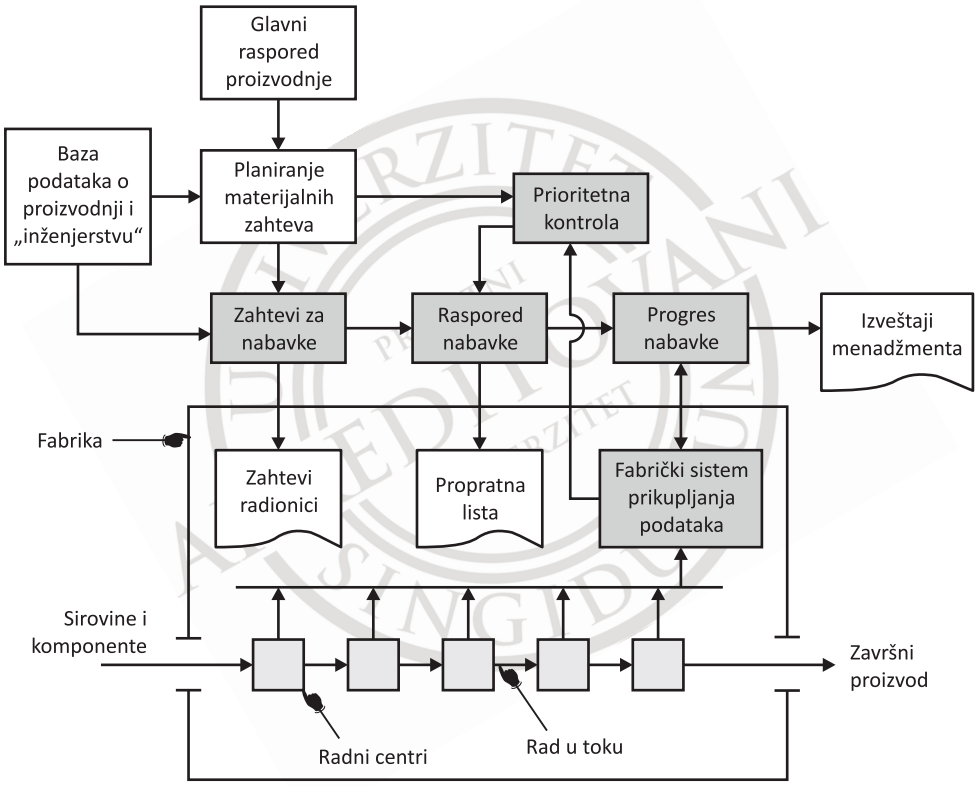
Planiranje kapaciteta za dugoročna podešavanja obuhvata promene u proizvodnim kapacitetima koji, uglavnom, zahtevaju dugo vreme proizvodnje. Pomenute korekcije uključuju sledeće aktivnosti:

- Ulaganje u novu opremu. Ovo uključuje investiranje u veći broj mašina ili više produktivnih mašina kako bi se zadovoljile buduće potrebe povećane proizvodnje ili investiranja u nove tipove mašina za buduće promene u dizajniranju proizvoda.
- Izgradnja novih postrojenja. Za većinu kompanija, izgradnja nove fabrike predstavlja jednu od glavnih investicija. Međutim, ona, takođe, predstavlja i značajno povećanje proizvodnih kapaciteta za firmu.
- Kupovina postojećeg postrojenja od drugih kompanija. Ovo je uobičajeno kada je cilj povećanje proizvodnih kapaciteta, a pogodno je kupovati postojeću opremu koja se pokazala u radu.
- Kupovina postojećih kompanija. Ovo se može uraditi da se povećaju proizvodni kapaciteti. Međutim, postoje obično važniji razlozi za preuzimanje postojećih preduzeća, kao što je postizanje ekonomskog obima koji rezultira povećanjem udela na tržištu i smanjenjem osoblja.
- Zatvaranje fabrika. Ovo uključuje zatvaranje fabrike (postrojenja) koja neće biti potrebna u budućnosti.

18.4. Kontrola pogona

Sistem kontrole pogona (SKP) predstavlja skup aktivnosti u kontroli proizvodnje koji se bavi puštanjem i prosleđivanjem "naređenja" unutar fabrike, praćenjem i kontrolom napretka naloga kroz razne "radne jedinice" i sticanjem aktuelne informacije o statusu naloga.

Tipičan SKP se sastoji od tri faze: (1) zahtevi za nabavke, (2) plan nabavki i (3) progres nabavki. Tri faze i njihove veze sa drugim funkcijama u sistemu upravljanja proizvodnjom su prikazane na slici 18.7.



Slika 18.7. *Tri faze unutar sistema za kontrolu pogona*

U modernim implementacijama SKP, ove faze su izvršavaju kombinacijom računara i ljudskih resursa, uz sve veći udeo računarski automatizovanih metoda. Termin proizvodni izvršni sistem (*Manufacturing Execution System* – MES) se koristi da označi računarski softver koji podržava SKP i koji obično uključuje sposobnost da se odgovori na *on-line* pitanja u vezi statusa svake od tri faze. Druge funkcije, često uključene u MES, su zadužene za generisanje instrukcija procesa, za kontrolu zaliha u realnom vremenu, za praćenje statusa mašina i alata, kao i praćenje rada. Pored toga, MES obično sadrži veze ka drugim modulima u informacionom sistemu firme, kao što su kontrola kvaliteta, održavanje i baza podataka o dizajnu proizvoda.

18.4.1. Zahtevi za nabavke

Ova faza kontrole pogona obezbeđuje potrebnu dokumentaciju za procese unutar fabrike, kako bi proizvodnja tekla u pravom smeru. Zbirka dokumenata se ponekad naziva pogonski paket. Sastoji se od (1) liste ruta, koja dokumentuje plan procesa za stavku koja se proizvodi, (2) zahteva za materijalom, pomoću koga se povlače neophodne sirovine iz inventara, (3) liste poslova ili drugi način da se izveštava o direktnom utroženom vremenu na rad i da se ukaže na napredak nabavki kroz fabriku, (4) liste kretanja u cilju autorizacije transporta delova između obradnih centara u fabrici, ako se ova vrsta dozvole traži i (5) listu delova, ako se radi i sklopovima i poslovima montaže. U radu unutar konvencionalne fabrike, koja se oslanja na fizički rad, ovo su papiri koji se kreću sa proizvodnim nalogom i koriste se za praćenje njegovog napretka kroz pogon. U modernoj fabrici, automatska identifikacija i tehnologije za snimanje podataka se koriste za praćenje statusa naloga za proizvodnju, što znači da je prikazivanje papirnih dokumenata (ili bar nekih od njih) nepotrebno.

Trebalo bi napomenuti da modul sa zahtevima za nabavke ima dva ulaza, kao što je to ilustrovano na slici 18.7. Prvi ulaz je planiranje materijalnih zahteva, gde je njihova autorizacija dobijena od strane glavnog rasporeda proizvodnje. Drugi ulaz u ovaj modul je baza podataka o proizvodnji i "inžnjeringu" koja obezbeđuje strukturu proizvoda i planove procesa neophodne za pripremu raznih dokumenata koji se "prate" kroz pogon.

18.4.2. Planiranje nabavki

Modul za raspored nabavki sledi iza modula sa zahtevima za nabavke i njegov zadatak je da prosleđuje proizvodne naloge (propratne liste) po različitim centrima unutar postrojenja. Takođe, pruža i informacije o prioritetima u odnosu različitih poslova, na primer, pokazujući krajnji rok za svaki posao. U dosadašnjoj praksi kontrole pogona, poslati spisak pomaže rukovodiocu pogona u cilju stvaranja radnih zadataka i dodeljivanja resursa za različite poslove u skladu sa glavnim (*master*) planom.

Modul za raspored nabavki pri kontroli pogona ima za cilj da reši dva problema u kontroli proizvodnje: (1) angažovanje mašina i (2) raspored poslova. Da bi se uspešno napravio raspored datog skupa proizvodnih naloga ili poslova u fabrici, naredbe, najpre, moraju biti dodeljene radnim centrima. Dodeljivanje naloga za rad centara naziva se angažovanje mašina. Koristi se i termin angažovanje pogona, koji se odnosi na angažovanje svih mašina u pogonu. Sve dok ukupni broj proizvodnih naloga prevazilazi broj radnih centara, svaki radni centar će imati listu naloga koji čekaju da budu obrađeni. Preostalo je pitanje: "Kojim redosledom bi poslovi trebalo da budu procesuirani?"

Odgovor na ovo pitanje je problem za odeljenje utvrđivanja redosleda poslova. Utvrđivanje redosleda poslova uključuje utvrđivanje redosleda sekvenci u kojima će traženi posao da bude odrađen kroz date radne centre. Da bi se utvrdio ovaj niz, uspostavljeni su prioriteti između radnih mesta u redu, a poslovi se obrađuju po redosledu njihovog relativnog prioriteta. Termin prioritetna kontrola je termin koji se koristi u kontroli proizvodnje i označava funkciju koja odražava odgovarajući nivo prioriteta za različite proizvodne naloge u pogonu. Kao što se vidi na slici 18.7, informacija prioritetne kontrole je značajan ulaz

za modul rasporeda nabavki. Neka pravila koja se koriste za uspostavljanje prioriteta proizvodnih naloga u postrojenju su:

- Prvi koji dođe – prvi se koristi. Poslovi su urađeni po redosledu kojim su došli do mašine. Moglo bi se tvrditi da je ovo pravilo najviše fer.
- Najstariji datum dospeća. U ovom slučaju, porudžbine sa ranijim datumom dospeća imaju veći prioritet.
- Najkraće vreme obrade. Porudžbine sa kraćim vremenom obrade imaju veći prioritet.
- Minimalno vreme "zastoja". Ovo vreme predstavlja razliku između preostalog vremena do određenog (definisanog) roka i preostalog vremena obrade. Porudžbine sa manjom ovom vrednošću imaju veći prioritet.
- Kritičan odnos (proporcija). Ovaj odnos je definisan kao količnik preostalog vremena do definisanog roka potraživanja i preostalog vremena obrade. Porudžbine sa manjom ovom vrednošću imaju veći prioritet.

Kada se porudžbina završi unutar jednog radnog centra, onda ona dolazi u red za sledeću mašinu, kako je definisano rutom unutar tekućeg procesa. Na primer, kako porudžbina postaje deo narednog angažovanja mašine sledećeg radnog centra u nizu, tako se prioritetna kontrola koristi da bi se utvrdio redosled obrade među poslovima na toj mašini.

Relativni prioriteti različitih naloga mogu se promeniti tokom vremena. Razlozi za ove promene uključuju: (1) nižu ili višu potražnju od očekivane tražnje za određenim proizvodima, (2) kvarove opreme koji dovode do kašnjenja u proizvodnji, (3) ukidanje porudžbine od strane kupca i (4) neispravne sirovine koje dovode do odlaganja porudžbine. Funkcija prioritetne kontrole se sastoji u tome da vodi računa o relativnim prioritetima naloga i da ih prilagođava u skladu sa listom slanja.

18.4.3. Progres nabavki

Modul za progres nabavki unutar kontrole pogona prati status raznih naloga u fabrici, kao i druge karakteristike koje ukazuju na napredak i performanse proizvodnje. Funkcija modula za progres nabavki je da pruži informacije koje su korisne za menadžment fabrike. Informacije predstavljene proizvodnom menadžmentu se često sažimaju u formi izveštaja, kao što su:

- Izveštaj o statusu radnog naloga. Ova vrsta izveštaja ukazuje na status proizvodnih naloga. Tipične informacije u izveštaju govore o trenutnom radnom centru gde je porudžbina locirana, o preostalom vremenu obrade pre završetka svake porudžbine, o tome da li se svaki posao završava na vreme ili kasni, kao i nivoima prioriteta svake porudžbine.
- Izveštaj o progresu (napretku). Izveštaj o napretku (progresu) se koristi za informisanje o performansama pogona u određenom vremenskom periodu (na primer, nedeljno ili mesečno u odnosu na *master* plan). On pruža informacije o tome koliko

je naloga završeno u toku perioda, koliko će se porudžbina završiti u toku perioda, koliko neće biti završeno itd.

- Izveštaj o izuzecima. Ovaj izveštaj identifikuje odstupanja od rasporeda proizvodnje (na primer, prekoračenje posla), kao i slične informacije o izuzecima.

Ovi izveštaji su korisni za upravljanje proizvodnjom prilikom donošenja odluka o raspodeli sredstava, autorizaciji prekovremenih sati, kao i drugih pitanja kapaciteta, kao i u identifikovanju problema u oblastima postrojenja koja negativno utiču na postizanje postavljenih ciljeva.

18.4.4. Fabrički sistem za prikupljanje podataka

Razne tehnike se koriste za prikupljanje podataka iz fabričkog pogona. Ove tehnike se kreću od činovničkog metoda koji zahteva da radnici popunjavaju papirne formulare koji se kasnije prikupljaju, do potpuno automatizovanih metoda koje ne zahtevaju ljudsko učešće. Fabrički sistem za prikupljanja podataka (*Factory Data Collection System* – FDCS) se sastoji od različitih papirnih dokumenata, terminala i automatskih uređaja, koji se nalaze širom fabričkog postrojenja u cilju prikupljanja podataka o poslovanju pogona, kao i za povezivanje i obradu podataka. Fabrički sistem za prikupljanja podataka služi kao ulaz u modul za progres nabavke, kao što je prikazano na slici 18.7. Takođe je ulaz i za prioritetnu kontrolu, što utiče na raspored nabavki. Primeri tipova podataka koje prikuplja FDCS uključuju (1) direktno utrošeno vreme za svaku porudžbinu, (2) delove koji se otpisuju ili treba da se prerade, (3) završno prebrojavanje delova unutar svakog radnog centra, (4) eksploataciju opreme i smanjenje vremena njenog korišćenja uz efikasniju izradu, kao i (5) vreme pauze za radnike.

Krajnji cilj fabričkog sistema za prikupljanje podataka (FDCS) je dvostruki: (1) da obezbede status i podatke o performansama za kontrolu pogona i (2) da obezbedi aktuelne informacije za rukovodstvo proizvodnje, menadžment fabrike, osoblje u odeljenju za kontrolu proizvodnje. Da bi se postigao ovaj cilj, fabrički sistem za prikupljanje podataka mora da unese podatke u računarski sistem fabrike. U trenutnoj CIM tehnologiji, to se radi u *on-line* modu, u kojem se podaci direktno unose u računarski sistem postrojenja (fabrike) i odmah su na raspolaganju modulu za progres nabavki. Prednost *on-line* prikupljanja podataka je ta što je fajl sa podacima, koji predstavljaju status pogona, aktuealan sve vreme i u realnom vremenu. Kako se desi neka promena, tako se ta promena verifikuje u pomenutom fajlu. Osoblje treba da zna da mogu da pristupe ovom statusu u realnom vremenu i treba da budu sigurni da imaju najnovije informacije na osnovu kojih će bazirati svoje odluke. Iako je FDCS moderan sistem i u velikoj meri je kompjuterizovan, papirna dokumenta se još uvek koriste u fabričkim operacijama, tako da priča u ovom poglavlju obuhvata i "ručne" i automatizovane sisteme.

Tehnika manuelnog ("ručnog") unosa podataka. Ručno orijentisana tehnika prikupljanja fabričkih podataka zahteva od radnika u proizvodnji da čita i popunjava papirne formulare koji ukazuju na podatke o progresu porudžbine. Unapređivanjem ovih tehnika dolazi se do određenih kombinacija "ručne" i kompjuterizovane metode. Papirne forme uključuju sledeće:

- "Putujući" posao. Radnik mora da zapiše utrošeno vreme, da izbroji komade, da izbroji škart i slično, i to da unese u listu koja "putuje" sa proizvodom.
- Vremenske liste zaposlenih. Radnik mora da popuni sopstveno dnevno radno vreme, kao i broj završenih komada u to vreme.
- Operacione trake. Reč je o odštampanim listovima koji se lako odvajaju od proizvoda, koji se ispunjavaju i pakuju sa gotovim proizvodom, kako bi, tako u paketu, otišli do sledeće lokacije.
- Bušene kartice. Slične su operacionim trakama.

Postoje problemi sa svim tim ručno orijentisanim postupcima za prikupljanje podataka. Svi oni se oslanjaju na saradnju i tačno interpretiranje podataka od strane radnika u fabrici i njihovo zapisivanje na papirni dokument. Uvek postoje greške u ovakvoj vrsti postupka. Stopa greške u vezi sa ručnim unosom podataka u proseku je oko 3% (jedna greška na 30 unetih podataka). Neke od grešaka može da detektuje činovničko osoblje koje sastavlja izveštaje. Primeri detektovanih grešaka su pogrešan datum, netačan broj porudžbine (kancelarijsko osoblje zna koji su nalozi u fabrici, i oni, obično, mogu da shvate kada je radnik uneo pogrešan broj), kao i netačni brojevi na radnim listama. Druge vrste greški je teško identifikovati.

Drugi problem je kašnjenje u podnošenju izveštaja po pitanju progresa pojedinačnih poslova, kao i sveukupnog posla. Postoji vremenska razlika kada se događaji javljaju u pogonu i kada su dostavljeni papiri sa podacima koji predstavljaju te događaje. Metoda "putujućeg" posla je najgora u tom pogledu. Ova metoda je od male koristi za pogonski kontrolni sistem. Preostale "ručne" metode "pate" od jednodnevnog odlaganja, jer podaci iz pogona se, uglavnom, podnose na kraju smene, a nisu dostupni sve do sledećeg dana.

Automatizovani i poluautomatizovani sistemi za prikupljanja podataka. Da bi se izbegli problemi u vezi sa "ručnim" procedurama za prikupljanje podataka, neke fabrike koriste za prikupljanje podataka terminale koji se nalaze locirani unutar fabrike. Radnici unose podatke pomoću jednostavne tastature ili konvencionalne alfanumeričke tastature. Podaci, koji su uneti preko tastature, imaju stopu greške od oko $0,3\%$ (jedna greška na 300 unetih podataka). Takođe, mogu biti uključene rutine za proveru grešaka (još u toku ukucavanja podataka od strane radnika) u postupak otkrivanja sintaksnih i nekih drugih vrsta grešaka. Zbog svoje široke upotrebe u društvu, računari postaju sve više i više zastupljeni u fabrikama, i za prikupljanje podataka i da se prezentuju inženjerski i proizvodni podaci pogonskom osoblju.

Metode za unos podataka obuhvataju tehnologije za automatsku identifikaciju i prikupljanje podataka (*Automatic Identification and Data Collection* – `AIDC`), kao što su optički bar kodovi i identifikacija pomoću radio frekvencije (*Radio Frequency IDentification* – `RFID`). Određeni tipovi podataka, kao što su broj naloga, identifikacija proizvoda i radni broj sekvence, mogu biti uneti korišćenjem automatizovanih tehnika i to upotrebom bar-kodiranih ili magnetnih kartica, uključenih u pogonske dokumente.

Neke od konfiguracija terminala za prikupljanje podataka, koji mogu biti instalirane u

fabrici, obuhvataju:

- Jedan centralizovan terminal. U tom aranžmanu postoji jedan jedini terminal koji se nalazi u centru fabrike. To zahteva od svih radnika da se prošetaju sa svojih radnih stanica do centralne lokacije kada bi trebalo da unesu podatke. Ako je fabrika velika, to je nezgodno i neefikasno. Takođe, korišćenje ovakvog terminala povećalo je i potrebno vreme za promenu smena, što je rezultiralo značajnim izgubljenim vremenom za radnike.

- Satelitski terminali. U ovakvoj konfiguraciji, postoji više terminala za prikupljanje podataka, koji se nalaze u celokupnoj fabrici. Broj i lokacije su dizajnirane tako da se uzvrši ravnoteža između smanjenja troškova ulaganja u terminale i povećanja pogodnosti po pitanju radnika.

- Terminali radnih stanica. Najpovoljniji aranžman za radnike je da se ima terminal za prikupljanje podataka na raspolaganju u svakoj radnoj stanici. Ovo smanjuje vreme izgubljeno u šetnji do satelitskog terminala ili do jednog centralnog terminala. Iako je cena ulaganja najveća za ove konfiguracije, to može biti opravdano kada je broj transakcija podataka relativno veliki i kada su terminali, takođe, dizajnirani da automatski prikupljaju određene podatke.

Trend u industriji ide sve više ka automatizovanom prikupljanju fabričkih podataka. Mada se zovu "automatizovane" ili "automatske", mnoge od tehnika zahtevaju učešće ljudskog radnika, kao što je već rečeno; zbog toga se i pojavio naziv "poluautomatske" ili "poluautomatizovane", za ove tehnike ili kategorije sistema za prikupljanje podataka.

Glava 19

Just In Time i *Lean* proizvodnja

Poznat je podatak da je J-I-T (*Just-In-Time*) filozofiju popularizovala japanska kompanija *Toyota*. Njihova težnja je bila da uspostave idealne tokove materijala kroz celokupnu mrežu snabdevanja u skladu sa zahtevima potrošača. Pojam idealni podrazumeva maksimalno redukovanje svih ulaganja, napora i troškova, a povećanje performansi i efekata u funkciji idealizovanih ciljeva poslovanja. Put ka tim ciljevima započeo je sa *lean* proizvodnjom. Polazna, osnovna težnja ovakve proizvodnje je smanjivanje zaliha. Komparativno gledano u odnosu na masovnu proizvodnju, *lean* proizvodnja smanjuje napore radne snage, smanjuje proizvodni prostor, smanjuje troškove opreme, skraćuje vreme potrebno za razvoj proizvoda. To direktno vodi smanjivanju troškova i povećanju ekonomičnosti.

Lean koncept (*lean* mišljenje) je proširen i na druge funkcionalne jedinice kompanije i to na dizajn, razvoj i logistiku. Primenom ovog pristupa, mreža logistike svoje performanse podiže na jedan viši nivo i sve izmene u poslovnim procesima usklađuje sa zahtevima potrošača. U osnovi, principi *lean* mišljenja podrazumevaju da se roba proizvodi i isporučuje kupcima tačno na vreme i u skladu sa ugovorenom prodajom.

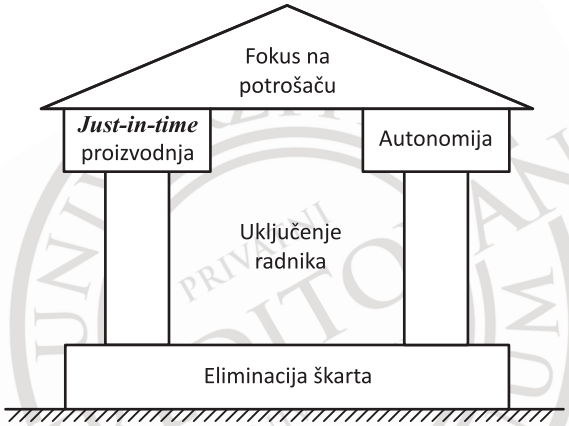
J-I-T sistem proizvodnje predstavlja netradicionalni pristup proizvodnji i kontroli zaliha koji je prvi put korišćen u Tojotinoj fabrici pedesetih godina dvadesetog veka. J-I-T znači isporuku materijala ili delova do sledeće stanice za preradu u proizvodnji, neposredno pre nego što ti delovi zatrebaju na radnoj stanici. To rezultira minimalnim radom u procesu i promoviše visok kvalitet materijala i delova koji se isporučuju. J-I-T je jedan od osnovnih pristupa koji se koriste u Tojotinom proizvodnom sistemu.

19.1. *Lean* proizvodnja i gubici u izradi

Lean proizvodnja znači da se radi više sa manje resursa. To je adaptacija masovne proizvodnje u kojoj se rad ostvaruje za kraće vreme, u manjem prostoru, sa manje radnika, sa manje opreme, a ipak se postiže bolji nivo kvaliteta finalnog proizvoda. *Lean* proizvodnja označava da se klijentima daje ono što oni žele i da se zadovoljavaju ili nadmašuju njihova očekivanja.

Tojotin proizvodni sistem je evoluirao počevši od 1950-ih godina i imao je zadatak da se

nosi sa realnošću posleratne privrede Japana. Ove ekonomske stvarnosti su (1) mnogo manje automobila na tržištu nego u SAD i Evropi, (2) nedostatak japanskog kapitala da investira u nove fabrike i opremu i (3) spoljni svet koji je uključivao više afirmisane automobilske kompanije odlučne da brane svoja tržišta protiv japanskog uvoza. Da bi se nosila sa ovim izazovima, Tojota je razvila proizvodni sistem koji može da proizvede različite modele automobila sa manje problema po pitanju kvaliteta, sa manjim zalihama, sa manjom proizvodnjom delova koji se koriste u automobilima i smanjenim rokovima za proizvodnju automobila. Razvoj Tojotinog proizvodnog sistema je predvodio *Taiichi Ohno*, potpredsednik Tojote, čiji napori su u velikoj meri motivisani željom da se eliminiše škart (otpad) u svim svojim različitim oblicima u proizvodnim operacijama. Sastavni delovi *lean* proizvodnog sistema prikazani su na slici 19.1.



Slika 19.1. *Struktura Lean proizvodnog sistema*

Osnova Tojotinog proizvodnog sistema je eliminacija otpada. U realnoj proizvodnji, otpad (škart) je prisutan i ima ga dosta. Aktivnosti u proizvodnji mogu se podeliti u tri kategorije, kao na slici 19.2:

- Aktuelni rad koji se sastoji od aktivnosti koje dodaju vrednost proizvodu. Primeri uključuju obradne korake u cilju proizvodnje delova i operacije montaže za izgradnju proizvoda.
- Pomoćni rad koji podržava stvaranje vrednosti dodavanjem aktivnosti. Ovi primeri uključuju utovar i istovar proizvodnih mašina koje vrše obradne korake.
- Gubici, aktivnosti koje ne dodaju vrednost proizvodu, niti podržavaju dodatnu vrednost rada. Ako ove aktivnosti nisu izvršene, nema negativnog uticaja na proizvod.



Slika 19.2. *Tri kategorije aktivnosti u proizvodnji*

Taiichi Ohno je identifikovao sedam formi o gubicima u proizvodnji koje treba eliminisati pomoću različitih postupaka. Tih sedam oblika su:

- proizvodnja neispravnih delova;
- proizvodnja više delova nego što je potrebno (prekomerna proizvodnja);
- prekomerne zalihe;
- nepotrebni koraci obrade;
- nepotrebno kretanje ljudstva;
- nepotrebno rukovanje materijalima;
- čekanje radnika.

Eliminisanje proizvodnje defektnih delova zahteva sistem za kontrolu kvaliteta koji postiže savršen kvalitet iz prvog puta. U oblasti kontrole kvaliteta, sistem proizvodnje u Tojoti je u oštrom kontrastu sa tradicionalnim sistemima kontrole koji se koriste u masovnoj proizvodnji. U masovnoj proizvodnji, kontrola kvaliteta se obično definiše u smislu prihvatljivog nivoa kvaliteta, što znači da se određeni minimalni nivo defekata toleriše. U *lean* proizvodnji, naprotiv, savršen kvalitet je preko potreban. J-I-T isporuke, koje se koriste u proizvodnji, moraju da budu bez defekata, jer ako se neispravan deo dostavi narednoj radnoj stanici, proizvodnja mora da se zaustavi. U ovoj vrsti proizvodnje ne postoje zalihe ili su toliko male da ne mogu da se iskoriste kako bi se premostili tekući problemi. U masovnim proizvodnjama, zalihe se koriste iz privremenih skladišta samo u slučaju da se javljaju problemi oko postignutog kvaliteta. Neispravna radna jedinica se jednostavno skida sa linije i menja sa prihvatljivom jedinicom. Međutim, takva politika teži da produži uzrok lošeg kvaliteta. Dakle, defektni delovi će se i dalje proizvoditi. U *lean* proizvodnji, jedan defekt skreće pažnju na problem kvaliteta, što je primoralo kompaniju da preduzme korektivne mere i pronađe trajno rešenje. Radnici ispituju sopstvenu proizvodnju i smanjuju isporuke kvarova radnim stanicama koje su smeštene niz proizvodnu liniju.

Hiperprodukcija i preterane zalihe su u korelaciji. Proizvodnja više delova nego što je potrebno znači da postoji ostatak delova koji se mora sačuvati. Od svih gore pomenutih formi gubitaka, *Ohno* je verovao da je "ubedljivo najveći otpad (škart) od svih, višak zaliha". Hiperprodukcija i višak zaliha uzrok je povećanih troškova u u sledećim oblastima:

- skladištenje (zgrade, osvetljenje i grejanje, održavanje);
- skladištenje opreme (palete, sistem stalaka ili polica, viljuškari);
- dodatni radnici za održavanje i upravljanje dodatnim zalihama;
- dodatna radnici koji proizvode višak delova;
- ostali troškovi proizvodnje (sirovine, mašine, energija, održavanje) kako bi se proizveo višak delova;
- otplata kamata za finansiranje svega gore navedenog.

Kanban sistem za J-I-T proizvodnju obezbeđuje mehanizam kontrole svake radne stanice za proizvodnju u cilju dostavljanja samo minimalne količine delova potrebne sledećem procesu u nizu. Na taj način se ograničava količina zaliha koja je dozvoljena da se akumulira između operacija.

Nepotrebni obradni koraci znače da je utrošena dodatna energija od strane radnika i/ili mašina za posao koji ne dodaje vrednost proizvodu. Primer za to je proizvod, koji je dizajniran sa funkcijama koje nisu korisne za kupca, a utrošeno je i dosta vremena i kreirano je još troškova kako bi se stvorile ove funkcije. Drugi razlog za nepotrebne obradne korake je taj da metoda obrade za zadatak nije dobro dizajnirana. Zbog toga, te pogrešne metode, koje se koriste za zadatak, obuhvataju "izgubljeno" kretanje ruku i tela, nepotrebne radne elemente, neprikladan ručni alat, neefikasnu proizvodnu opremu, lošu ergonomiju i opasnosti po pitanju sigurnosti.

Kretanja ljudi i materijala je neophodna aktivnost u proizvodnji. Kretanja su neophodna i to su prirodni elementi radnih ciklusa za većinu radnika, i materijal mora da se transportuje od jedne do druge radne operacije, u toku njihove obrade. Kada se vrši kretanje radnika i materijala nepotrebno i bez dodavanja vrednosti na proizvod, tada se javlja škart. Razloge zbog kojih se ljudi i materijali ponekad nepotrebno pomeraju (kreću) su sledeći:

- Neefikasan raspored radnih mesta. Potrebni alati i delovi su nasumično organizovani u radnom prostoru, tako da radnici moraju tražiti ono što im je potrebno i koriste neefikasna kretanja da bi dovršili svoje zadatke.
- Neefikasan izgled fabrike. Radne stanice nisu raspoređene duž linije toka sekvencijalne obrade.
- Nepravilno rukovanje materijalom. Na primer, "ručno" rukovanje se koristi umesto mehanizovanog rukovanja i automatske opreme.
- Proizvodne mašina su raspoređene suviše daleko. Veće udaljenosti automatski znače više tranzitnog puta između mašina.
- Veća oprema nego što je potrebno za zadatak. Većim mašinama potreban je veći pristupni prostor i veće su udaljenosti između mašina.
- Konvencionalna serijska proizvodnja. Tokom serijske proizvodnje, neophodne su izmene posle završenih serija i to ima za posledicu pauze tokom kojih se ne proizvodi ništa.

Sedmi oblik formi o gubicima je čekanje na radnike. Kada su radnici prisiljeni da čekaju, to znači da ne rade. Postoji niz razloga zašto su radnici ponekad prinuđeni da čekaju. Ovi primeri uključuju sledeće:

- čekanje na materijale koji treba dostaviti na radnu stanicu;
- čekanje jer je pokretna proizvodna traka zaustavljena;
- čekanje na popravku slomljenog dela mašine ili same mašine;

- čekanje na ponovno podešavanje mašina;
- čekanje na mašinu da obavi svoj automatsku obradni ciklus radnog dela.

19.2. J-I-T proizvodni sistemi

Ovaj princip podrazumeva proizvodnju gotovih proizvoda tačno na vreme kako bi se udovoljilo narudžbino kupaca. Princip J-I-T je krajnji cilj nove proizvodne filozofije. Prvi put je primenjen u *Toyota* sistemu. Princip J-I-T je uveden da bi se ostvario ideal proizvodnje bez zaliha. Prema tome J-I-T proizvodnja podrazumeva proizvodnju gotovih proizvoda tačno na vreme kako bi se udovoljilo zahtevu kupca, zatim proizvodnju sastavnih delova onako kako ide potreba za njima, tačno na vreme kada ih treba montirati u gotove proizvode, kao i nabavku materijala onako kako potrebe za njima pristižu, kako bi mogli blagovremeno da se proizvode delovi. J-I-T proizvodnja znači proizvesti samo ono što se traži u najmanjim mogućim serijama sa nula grešaka i u najkraćem mogućem vremenskom intervalu. U savremenim uslovima industrijske proizvodnje J-I-T proizvodnja ima sledeće karakteristike – proizvodnja po narudžbini, u malim serijama, sa nula grešaka, sa najkraćim ciklusom izrade, bez skladišta.

Zalihe postoje, jer su delovi kupljeni pre nego što su, zaista, i bili potrebni. Takođe, zalihe postoje i zbog nesigurnosti isporuka i raznih pogodnosti pri kupovini. J-I-T koncept, jednostavno rečeno, traži da su delovi dostupni samo kada ih trebaju, a da ih uopšte nema ako nisu potrebni. Što se bolje kontroliše lanac nabavke i proizvodnja, manje je zaliha potrebno.

J-I-T zapravo nije tehnika, već logičan rezultat skupa tehnika. To je zapravo cilj stroge kontrole nabavke, efektivnog planiranja procesa proizvodnje i dizajna fabrike, motivacije radnika, smanjenja troškova, logistike i planiranja potrebe materijala (*Material Requirements Planning* – MRP). Kombinovanje ovih tehnika vodi ka implementaciji J-I-T pristupa. Osnove ovakvog pristupa su: nabaviti kad je potrebno, nabaviti po potrebnom kvalitetu, smanjiti pripremno vreme, efektivno organizovati. Kada se sve sublimira, potrebno je zapravo povećati kvalitet u svim menadžerskim poslovima – kvalitetu zapisa, kvalitetu procedura, kvalitetu nabavke, isporuke, predviđanja i određivanja ciljeva, i naravno kao rezultat svih aktivnosti, kvalitetu proizvoda i njegovih delova.

Preduzeća su prilično skeptična po pitanju nabavke u čestim, malim količinama, ali ako se dobro isplaniraju količine različitih delova, neće se desiti da kamioni transportuju delove sa viškom slobodnog prostora. *Lean* fabrike su poznate po dnevnom proizvodnom miksu, i minimiziranju broja različitih delova u završnom proizvodu.

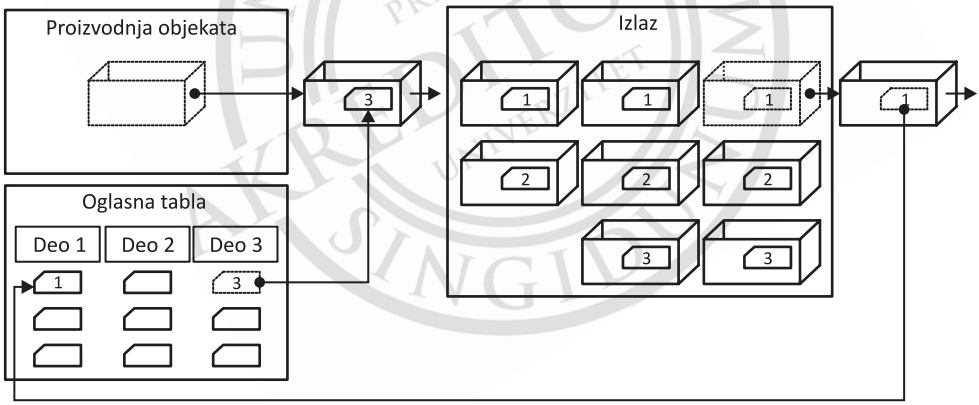
19.2.1. *Kanban* planiranje

Kanban je japanska reč koja može da se prevede kao kartica. Ove kartice su prikačene na kontejnere koji sadrže određene delove potrebne proizvodnji. Tek kada delovi iz kontejnera budu počeli da se koriste u proizvodnom procesu, sa kontejnera se skida kartica i postavlja na tablu. Kada je kartica postavljena na signalizacionu tablu, to je signal da je nova količina (u zavisnosti od veličine kontejnera) delova potrebna proizvodnji.

Kao što je već rečeno, *kanban* sistem predstavlja način da svi proizvodni procesi u fabrici rade kontinuirano, i da ne ostanu bez predmeta rada (ili da ne proizvedu previše), putem vizuelne signalizacije u fabrici. Vizuelna signalizacija umnogome olakšava upravljanje sistema, jer menadžeri i supervizori mogu trenutno da vide stanje zaliha u radnim jedinicama.

Potreban impuls da bi predmet rada bio distribuiran radnom mestu je potreba kupca. To znači da *kanban* sistem dopušta da se proizvede samo ono što ima kupca, a ne oslanja se na tehnike predviđanja prodaje. *Kanban* treba shvatiti više kao izvršnu metodu, nego kao metodu za planiranje, koja uzima informacije od planiranja materijala i pretvara u *kanban*. Ono što *kanban* zamenjuje je potreba za planerima proizvodnje i supervizorima koji konstantno nadgledaju proizvodni plan i određuju koji proizvod treba proizvesti, a kada treba da se izmene proizvodi.

Najlakše objašnjenje osnovnog modela *kanban* metode je preko šeme (slika 19.3.). Proizvedeni delovi se, u zavisnosti od njihove veličine, stavljaju u kutije ili postavljaju na ramove. U kutijama se nalaze isti delovi koji su klasifikovani šifrom koja je ispisana na kartici. Na kutije se postavljaju kartice (*kanban*). Tako obeležena kutija se transportuje do radne jedinice kojoj su potrebni ti delovi. Kartica se skida i vraća na tablu. Na taj način se signalizira radnoj jedinici da ponovo počne proizvodnju nove količine delova za koje postoji potreba, a kartica se nalazi na signalnoj tabli sve dok se kutija ne napuni. Tada se kartica skida, postavlja na kutiju i ciklus se ponavlja.



Slika 19.3. *Operacije Kanban sistema između radnih stanica*

Kada se izrađuju proizvodi koji sadrže u sebi nekoliko hiljada delova, projektovanje *kanban* sistema postaje mnogo kompleksnije. Danas se koristi računarski informacioni sistem, koji zamenjuje stari oblik kartica, ali kartice i dalje postoje, samo drugačije izgledaju. Iako je digitalizacija donela mnogo efikasniji način upravljanja *kanban*-om, osnovni princip je ostao nepromenjen.

Objašnjenje i slika daju samo osnovnu ideju kako se *kanban* koristi. Najčešće je u praksi *kanban* sistem sa dve (2) transportne kutije identičnih delova. Kada delovi iz prve kutije počnu da se koriste, kartica se skida sa kutije i postavlja na tablu za signaliziranje. To je signal da se počne sa proizvodnjom nove količine delova, dok druga kutija služi kao privremeno skladište kako ne bi došlo do nestanka potrebnog dela.

Evolucijom informacionih tehnologija, evoluirale su i *kanban* kartice (slika 19.4) i table za signalizaciju (slika 19.5). Danas kartice, umesto da se ponovo stavljaju na signalnu tablu, posle donošenja do radne jedinice, bivaju poništene nakon što im se očita bar kôd.



Slika 19.4. *Nekoliko primera Kanban kartica*

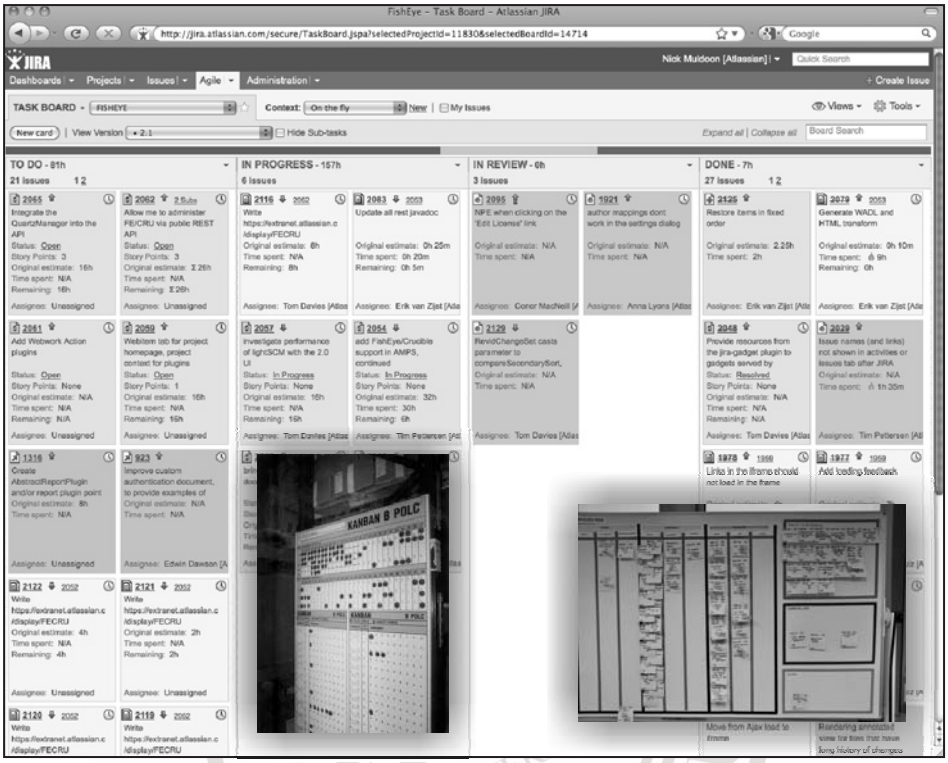
Kada se to uradi kartice se bacaju, a poništavanje kartice je signal informacionom sistemu da treba da odštampa novi *kanban* za taj deo. Kada počne štampanje *kanban*-a počinje i proizvodnja delova.

Sistem *kanban* treba da omogući kotinualni tok proizvodnje. Da bi kontinualni tok bio omogućen, potrebno je savršeno uskladiti veličinu transportnih partija. Izuzetno je bitno pravilno isplanirati i odrediti optimalan broj delova koji će biti stavljen u *kanban* kutije. Broj delova varira, u zavisnosti od potrebe za njima, tako da je neophodno isplanirati veličinu *kanban* kutije za svaki proizvod. Kada se isplanira veličina, potrebno je prema potrebama i mogućnostima odrediti proizvodnju.

Ključ uspeha svakog *kanban* sistema je stvaranje signala. Stvaranje uspešnog signala svakog dela u *kanban* sistemu zavisi od dva mesta u proizvodnom procesu – mesta u proizvodnom procesu gde se određeni deo proizvodi (tačka dopune) i mesta u proizvodnom sistemu gde se taj deo montira (tačka korišćenja). Tačna veza između ova dva mesta mora biti utvrđena, i često se naziva staza vučenja (*pull path*). Svaki deo u *kanban* sistemu mora imati određene tačke punjenja i korišćenja, i određenu putanju kako kontejneri stižu od jedne tačke do druge. Sve tačke, delovi i putevi moraju imati deklarisana imena.

Tačka dopune bi trebala da bude što bliže mogućoj tački korišćenja. Sa obzirom da su tačke korišćenja, obično, na pokretnoj traci, neformalno se nazivaju i tačkama na liniji. Ovo je prilično logično jer se proizvedeni delovi ugrađuju na traci u finalni proizvod. Kada su utvrđene obe tačke i fizička putanja između njih, potrebno je da rukovaoc materijalom obavi prenos punog *kanban* kontejnera od tačke punjenja do tačke korišćenja.

Ako su podizvođači sertifikovani i ako je već uhodan J-I-T sistem, skladište neće ni postojati pošto će delovi stizati direktno na ugradnju. Tako će tačke punjenja biti zapravo puni *kanban* kontejneri skinuti direktno sa kamiona, koji će se transportovati do tačke korišćenja, a prazni kontejneri će se vraćati podizvođaču po ustanovljenom taktu proizvodnje.



Slika 19.5. *Nova i stara oglasna tabla*

19.3. Autonomija

Reč "autonomija" izgleda kao pogrešno napisana reč "automatizacija". *Taiichi Ohno* je rekao da autonomija predstavlja automatizaciju sa ljudskim dodirom. Ideja je da mašine rade samostalno, dok pravilno funkcionišu. Kada ne funkcionišu pravilno, na primer, kada se proizvodi neispravan deo, mašine su dizajnirane da odmah prestanu sa radom. Drugi aspekt autonomije je taj da su mašine i procesi kreirani tako da imaju cilj da spreče greške. Konačno, da bi mašine bile pouzdane, moraju da imaju efikasan program održavanja. Ovaj deo pokriva sledeća tri aspekta autonomije: (1) automatsko zaustavljanje procesa kada nešto krene naopako, (2) sprečavanje grešaka i (3) ukupno produktivno održavanje.

19.3.1. Zaustavljanje procesa

Veći deo autonomije je otelotvoren u japanskoj reči *jidoka*, koja se odnosi na mašine koje su dizajnirane da se automatski zaustave kada nešto krene naopako, kao što je proizvodnja neispravnih delova. Proizvodne mašine u Tojotinoj fabrici su opremljene automatskim uređajima za zaustavljanje, koji se aktiviraju kada registruju da se izrađuje neispravan radni deo. Kada se mašina zaustavlja, ona skreće pažnju na problem, koji zahteva korektivne

mere, koje treba preduzeti da bi se izbegli budući škartovi. Korekcije moraju da omoguće popravku mašine, čime se eliminišu ili smanjuju nedostaci i poboljšava se ukupni kvalitet finalnog proizvoda.

Pored funkcije kontrole kvaliteta, autonomija se odnosi i na mašine koje kontrolisano zaustavljaju proizvodnju, kada je potrebna količina (veličina šarže) odrađena ili izrađena, čime se sprečava hiperprodukcija. Iako se autonomija često primenjuje na automatizovanim mašinama za proizvodnju, može da se koristi i pri "ručnim" operacijama. U svakom slučaju, sastoji se od sledećih uređaja za kontrolu: (1) senzora za detekciju abnormalne operacije koja bi rezultirala smanjenjem kvaliteta, (2) uređaja za brojanje broj delova koji su proizvedeni i (3) znakova za zaustavljanje mašina ili proizvodne linije, kada se detektuje abnormalna operacija ili kada je završena potrebna serijska količina.

Alternativa autonomomiji je proizvodna mašina koja nije opremljena ovim mehanizmima kontrole i nastavlja da funkcioniše nenormalno, verovatno do završetka cele serije neispravnih delova, pre nego što se problem uopšte i primeti, ili do proizvodnje više delova nego što je potrebno narednoj radnoj stanici. Da bi se izbegla takva propast u postrojenjima koja nemaju mehanizme za automatski prestanak rada na mašinama, svaku mašinu mora stalno da nadgleda radnik i da prati njen rad. Mašine sa autonomijom ne zahtevaju radnike da budu prisutni sve vreme, posebno kada sve ispravno funkcioniše. Tek kada mašina prestane sa radom, radnik se pojavljuje da proveri o čemu se radi. Ovo omogućava da jedan radnik nadgleda rad više mašina, čime se povećava produktivnost zaposlenih.

Pošto su radnici "pozvani" da servisiraju više mašina, a mašine su često različitih tipova, radnici moraju biti spremniji i sposobniji od onih koji su odgovorni za samo jedan tip mašine. Na ovaj način fabrika postaje fleksibilnija, po pitanju "šetanja" radnika između različitih mašina i po pitanju posla, jer su radnici u stanju da odreaguju na promene unutar miksovanog opterećenja.

U Tojoti, *jidoka* koncept je proširen do krajnjih linija za montažu. Radnici su ovlašćeni da zaustave liniju za montažu, kada je problem po pitanju kvaliteta otkriven. Zastoj na završnoj montažnoj liniji u automobilskoj industriji je skup, tako da menadžeri očajnički žele da ga izbegnu. Oni su ovo postigli uveravanjem da su eliminisani problemi koji izazivaju zastoj. Pritisak se primenjuje na odeljenja za proizvodnju delova i na dobavljače, kako bi se odstranili defektni delovi i podsklopovi iz finalne oblasti montaže.

19.3.2. Prevencija greški

Ovaj aspekt autonomije je izveden iz dve japanske reči – *poka*, što znači greška i *yoke*, što znači sprečiti. Zajedno, *poka-yoke* znači sprečavanje grešaka pomoću jeftinih uređaja koji ih detektuju i/ili sprečavaju. Upotreba *poka-yoke* uređaja oslobađa radnika stalnog praćenja procesa u potrazi za greškama, koje mogu da prouzrokuju oštećene delove ili druge neželjene posledice.

Greške u proizvodnji su uobičajene, i one često rezultiraju nedostacima u proizvodnji. Primeri uključuju izostavljanje procesnih (obradnih) koraka, netačno lociranje radnog dela, korišćenje pogrešnog alata, neadekvatno poravnanje i pravilno stezanje na stolu mašine alatke (to bi moglo dovesti do cele serije delova koji su pogrešno obrađeni), kao i zane-

marivanje dodavanja sastavnog dela u sklopu.

Većina funkcija koje obavljaju *poka-yoke* uređaji u proizvodnji mogu se svrstati u sledeće kategorije:

- Detekcija odstupanja radnog dela. Njena funkcija je da otkrije abnormalnosti u radnom delu, kao što su njegova težina, dimenzije i oblik. Detektovanje može da se primeni na početni deo, ili na poslednji deo, ili na oba (pre i posle).

- Detekcija odstupanja procesa i metoda. Ova *poka-yoke* funkcija je dizajnirana da detektuje greške napravljene tokom montaže ili obrade. Greška je, obično, povezana sa "ručnim" operacijama. Na primer, da li je radnik ispravno pozicionirao radni deo u instalacije?

- Funkcije brojanja i tajminga. Brojanje može da se iskoristiti da se zaustavi proizvodna mašina, nakon određenog broja napravljenih delova. Promene alata tokom mašinske operacije su, često, zasnovane na vremenskom periodu koje je rezni alat u upotrebi. Mnoge operacije zahtevaju određeni broj ponavljanja datog radnog elementa, tokom ciklusa. Na primer, da li na licu mesta zavarivač primenjuje odgovarajući broj varova u toku radnog ciklusa? Tajmeri ili uređaji za brojanje mogu da prate ovakve situacije.

- Funkcije verifikacije. Ova vrsta funkcije se bavi verifikacijom određenog stanja i/ili stanja u toku radnog ciklusa. Na primer, da li je prisutan ili odsutan radni deo u steznom uređaju?

Kada *poka-yoke* utvrdi da su se greška ili drugi izuzetak dogodili, ona reaguje na jedan ili oba sledeća načina:

- Zaustavlja proces. Funkcija *poka-yoke* zaustavlja mehanizovani ili automatizovani ciklus proizvodne mašine kada otkrije problem.

- Obezbeđuje upozorenje. Ova funkcija pruža zvučno ili vidljivo upozorenje kako bi se "uzbunili" operator ili drugi radnici.

Dobro osmišljen *poka-yoke* uređaj obavlja 100% inspekcije i odmah ukazuje kada je došlo do odstupanja. Ostale poželjne karakteristike *poka-yoke* su jednostavnost, pouzdanost i niska cena. Senzori koji se koriste u *poka-yoke* uređajima obuhvataju različite kontaktne i nekontaktne tehnologije.

19.3.3. Ukupno produktivno održavanje

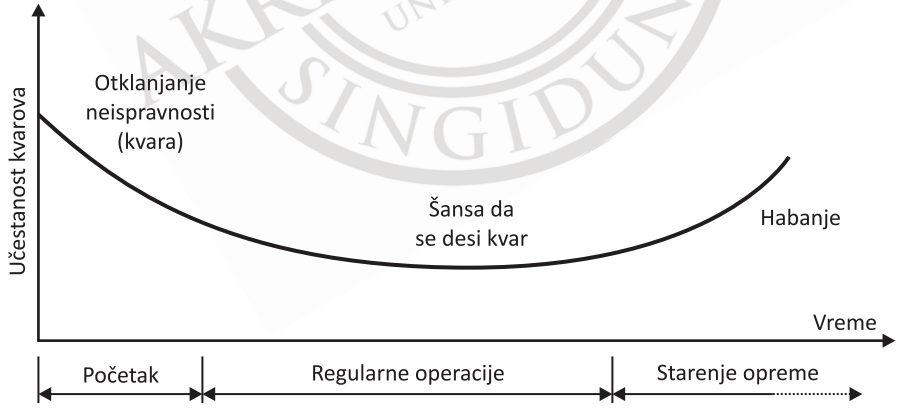
Proizvodna oprema u Tojotinom proizvodnom sistemu mora biti veoma pouzdana. J-I-T sistem za isporuku ne može da toleriše kvarove mašina, jer postoje male robne rezerve između radnih stanica (i levo i desno, i gore i dole), kada je centralna stanica zaustavljena. *Lean* proizvodnja zahteva program održavanja opreme koji smanjuje kvarove mašina. Ukupno produktivno održavanje (*Total Productive Maintenance* – TPM) je koordiniran skup aktivnosti čiji je cilj da minimizira gubitke proizvodnje usled kvarova opreme,

nedostataka, kao i niskog stepena iskorišćenja kroz učešće radnika na svim nivoima organizacije. Timovi radnika timovi se formiraju da bi rešili probleme održavanja (*kaizen* projekti). Radnicima, koji rade sa opremom, su dodeljeni rutinski zadaci inspekcije, čišćenja i podmazivanja njihovih mašina. To ostavlja radnicima redovnog održavanja više vremena da obavljaju zahtevnije tehničke poslove, kao što su "hitno" održavanje, preventivno održavanje i prediktivno održavanje (videti definicije u tabeli 19.1). Cilj TPM-a je nula kvarova.

Tabela 19.1. *Definicije održavanja*

TERMIN	DEFINICIJA
"Hitno" održavanje	Popravka kvarova kada se desi prekid u proizvodnji
Preventivno održavanje	Rutinske popravke kvarova kako bi se izbegli prekidi
Prediktivno održavanje	Predviđanje kvarova pre nego što se oni dese
Ukupno produktivno održavanje	Integracija preventivnog i prediktivnog održavanja kako bi se izbeglo "hitno " održavanje

Tradicionalna mera pouzdanosti mašina je dostupnost ili učestanost kvarova, koja predstavlja odnos ukupnog željenog vremena rada mašina i operativnog vremena koliko je mašina, zaista, bila dostupna i operativna. Kada je deo opreme potpuno nov (i kada su otklonjene neispravnosti ili kvarovi), a i kasnije kada počne da stari, njegova dostupnost ili učestanost kvarova ima tendenciju da bude niža. Ovo rezultira tipičnom U krivom dostupnosti (učestanosti kvarova) kao funkcije vremena tokom radnog veka opreme, kao što je prikazano na slici 19.6.



Slika 19.6. *"U" kriva učestanosti kvarova dela opreme tokom njegovog životnog ciklusa*

Postoje i drugi razlozi zašto, pored prekida, deo proizvodne opreme može da radi sa manjom stopom svojih mogućnosti. Drugi razlozi uključuju (1) nizak stepen iskorišćenja, (2) proizvodnju neispravnih delova i (3) rad na manjoj brzini od dizajnirane.

Iskorišćenost predstavlja odnos izlazne količine proizvodne mašine u datom vremenskom periodu (na primer, nedelju dana) u odnosu na svoje kapacitete tokom tog istog perioda.

Iskorišćenost može da se meri i odnosom broja proizvodnih sati i ukupnog broja sati koliko je mašina bila na raspolaganju. Loša iskorišćenost mašina je posledica lošeg planiranja rada – mašine imaju prazan hod, vrše se podešavanja i promene između proizvodnih serija, radnici odsustvuju sa posla, a tu je i niska potražnja za vrstama procesa koje obavljaju mašine. Iskorišćenje može da se procenjuje za jednu mašinu, za celu fabriku ili za bilo koje druge proizvodne resurse (na primer, rad). Često se izražava i kao procenat (na primer, fabrika radi sa 83% kapaciteta).

Proizvodnja neispravnih delova može biti zbog pogrešnog podešavanja mašine, netačnih postavki prilikom prilagođavanja ili nepravilnog alata. Svi ovi razlozi su "vezani" za probleme opreme. Dodatni razlozi za proizvodne nedostatke, koji nisu u vezi sa problemima opreme, uključuju polazne materijale i ljudske greške. Stopa defekata je definisana kao verovatnoća proizvodnje neispravnih delova tokom svakog radnog ciklusa. To je procenat neispravnih delova koji su proizvedeni u datom procesu. Stopa ispravnih delova se definiše kao

$$Y = 1 - q,$$

gde su Y stopa ispravnih delova (odnos broja ispravnih delova i ukupnog broja izrađenih delova), a q je stopa defektnih delova.

Pokretanje opreme sa manjom od svoje dizajnirane brzine smanjuje operativne sposobnosti, što predstavlja odnos stvarne brzine i projektovane brzine mašine. Na primer, neka se ovaj odnos označi kao r_{ok}.

Svi ovi faktori mogu biti kombinovani u sledećoj jednačini kako bi se dobila mera sveobuhvatne efektivnosti opreme (SEO):

$$SEO = A \cdot U \cdot Y \cdot r_{ok}$$

gde su SEO stopa sveobuhvatne efektivnosti opreme, A raspoloživost (srazmerno produženje rada), U iskorišćenost opreme, Y stopa dobijenih "dobrih" proizvoda i r_{ok} operativni kapacitet. Cilj ukupnog produktivnog održavanja je da SEO bude što bliže vrednosti 100%.

19.4. Uključenost radnika

Između dva stuba proizvodnje na slici 19.1, nalaze se radnici koji su motivisani, fleksibilni i spremni da učestvuju u stalnom unapređenju. Diskusija oko učešća radnika u *lean* proizvodnom sistemu se sastoji od tri teme: (1) kontinuirano poboljšanje, (2) vidno radno mesto i (3) standardne radne procedure. Pored toga, ukupno produktivno održavanje, takođe, zahteva angažovanje radnika.

19.4.1. Kontinuirano poboljšanje

U kontekstu *lean* proizvodnje, japanska reč *kaizen* predstavlja kontinuirano unapređenje proizvodnih operacija. Ova kontinuirana poboljšanja (*kaizen*) se obično sprovode putem timova radnika, a ponekad se nazivaju i krugovi kvaliteta, koji su organizovani za rešavanje specifičnih problema koji su identifikovani na radnom mestu. Timovi se bave, ne

samo problemima kvaliteta, nego i problemima koji se odnose na produktivnost, cene, sigurnost, održavanje i drugim oblastima od interesa za organizaciju. Termin *kaizen* krug se, takođe, koristi, što ukazuje na širok spektar pitanja koja su, obično, uključena u te aktivnosti.

Kaizen je proces koji pokušava da uključi sve radnike, kao i njihove nadređene i menadžere. Radnici su često članovi više od jednog *kaizen* kruga. Iako je glavni cilj organizovanje radnika u timove kako bi se rešili problemi u proizvodnji, postoje i drugi, manje očigledni, ali i važni ciljevi. *Kaizen* krugovi, takođe, podstiču osećaj odgovornosti radnika, omogućavaju da radnici dobiju priznanje od kolega, a i poboljšavaju njihove tehničke veštine.

Kaizen je primenjen od strane radnika timova i to na takav način da se rešavaju problemi pojedinačno, jedan po jedan. Tim je u stanju da se "bavi" određenim problemom, kao i projektnim aktivnostima po pitanju rešavanja problema, koji se nazivaju *kaizen* događaji. Kao što je već pomenuto, problem se može odnositi na bilo koju od različitih oblasti od interesa za organizaciju (na primer, kvalitet, produktivnost, održavanje). Članovi tima se biraju u skladu sa svojim znanjem i stručnošću u oblasti problema i mogu se angažovati iz različitih odeljenja. Oni rade honorarno u projektnom timu, pored ispunjavanja svojih redovnih operativnih poslova. Po završetku projekta, tim se raspušta. Uobičajena praksa je da se tim sastane dva do četiri puta mesečno, a svaki sastanak bi trebalo da traje oko sat vremena.

19.4.2. Vizuelni menadžment i 5S

Princip vizuelnog menadžmenta je da status radne situacije bude evidentan samim pogledom na nju samu. Ako nešto nije u redu, ovaj poremećaj bi trebalo da bude očigledan za posmatrača, tako da mogu odmah da se preduzmu korektivne akcije. Takođe se zove i vizuelno ili vidno radno mesto, a princip važi za celokupno okruženje fabrike. Objekti koji ometaju prikaz unutar fabrike nisu dozvoljeni, tako da je ceo unutrašnji prostor vidljiv. Gomilanje radnih elemenata u procesu je ograničeno do određene visine (na primer, visina manja od dva metra). Dakle, vidno radno mesto obezbeđuje vidljivost širom fabrike i podstiče kontinuirano usavršavanje i dobro održavanje.

Upotreba *kanbana* u J-I-T sistemima proizvodnje može se smatrati primerom vizuelnog menadžmenta. Na ovaj način, *kanbani* obezbeđuju vizuelni mehanizam za odobravanje proizvodnje i transporta delova unutar fabrike.

Drugi važan način primene vizuelnog menadžmenta je upotreba svetlećih tabli. Svetleća tabla predstavlja svetlosni panel koji nalazi iznad radne stanice ili proizvodne linije, koja se koristi da označi njen radni status. Njen rad je, obično, povezan sa ručicama ili kablovima duž proizvodne linije, koji omogućavaju radniku da zaustavi liniju. Ako dođe do određenog problema, kao što je zaustavljena linija, svetleća tabla identifikuje gde je problem i priroda problema. Različite boje svetla se često koriste da označe status operacije. Na primer, zeleno svetlo ukazuje na normalan rad, žuta znači da radnik ima problem i poziva u pomoć, a crvena linija pokazuje da je prestao sa radom. I druge boje mogu da se koriste, kako bi označile kraj proizvodne linije, eventualni nedostatak materijala, moguću potrebu za podešavanjem mašine itd.

Princip vidnog (vizuelnog) radnog mesta može da se primeni i u obuci radnika. To uključuje korišćenje fotografija, crteža i dijagrama da bi se dokumentovale radne instrukcije, za razliku od dugih tekstova koji nemaju ilustracije. Čuvena rečenica da "slika vredi hiljadu reči" može da bude moćan alat za obuku radnika.

Jedan od načina uključivanja radnika u sistem vizuelnog (vidnog) radnog mesta je sistem koji se zove 5S. Sistem 5S je skup procedura koje se koriste za organizovanje radnih oblasti postrojenja ili fabrike. Pet slova S su početna slova pet japanskih reči kako bi se pisale na engleskom jeziku, a i njihov prevod na engleski, takođe, počinje istim slovom. Pet engleskih reči su: (1) *sort*, (2) *simplify access*, (3) *shine*, (4) *standardize* i (5) *self-discipline*. Pet japanskih S reči, zajedno sa izvedenim engleskim i srpskim ekvivalentima, navedeno je u tabeli 19.2.

Tabela 19.2. *5S reči – japanski, engleski, srpski*

Japanska reč	Engleski ekvivalent	Srpski ekvivalent
Seiri	*Sort*	Sortirati
Seiton	*Simplify access*	Pojednostavljen pristup
Seiso	*Shine, sweep, scrub*	Čišćenje, higijena
Seiketsu	*Standardize*	Standardizovati
Shitsuke	*Self-discipline, sustain*	Samodisciplina

Koraci u 5S obezbeđuju dodatna sredstva za sprovođenje vizuelnog menadžmenta u cilju obezbeđivanja čistog, urednog i vidljivog radnog okruženja, koje promoviše visok moral među radnicima i podstiče kontinuirano poboljšanje. Timovi radnika su, obično, odgovorni za ostvarivanje koraka, a 5S sistem mora da bude kontinuirani proces kako bi se održala dostignuća koja su napravljena. Pet koraka u 5S su:

1. Sortiranje. Ovaj korak se sastoji od sortiranja stvari na radnom mestu. Ovo uključuje identifikovanje stavki koje se ne koriste, čime se eliminiše pretrpanost, koja se, obično, akomulira na radnom mestu posle mnogo godina.

2. Pojednostavljen pristup. Elementi ostaju u području rada nakon sortiranja, gde su organizovani prema učestanosti korišćenja, pružajući jednostavan pristup elementima koji su, najčešće, potrebni.

3. Čišćenje. Ovaj korak uključuje čišćenje i inspekciju područja rada, kako bi sve bilo na svom mestu.

4. Standardizovanje. Standardizacija u 5S sistemu se odnosi na odgovarajuće dokumentovanje standardnih lokacija za elemente na radnom mestu.

5. Samodisciplina. Konačno, peti korak učvršćuje plan po pitanju održavanja prednosti u prethodna četiri koraka, a dodeljuje pojedinačne odgovornosti članovima tima, kako bi se održalo čisto i uredno radno okruženje. Radnici su odgovorni za brigu o radnoj opremi, što podrazumeva čišćenje i obavljanje manjih zadataka po pitanju održavanja.

19.4.3. Standardizovanje radnih procedura

Standardizovane radne procedure su osnovane u Tojotinom proizvodnom sistemu, koristeći pristupe koji su slični tradicionalnim metodama inženjerskih tehnika. Studiranje vremenskih okvira se koristi za određivanje potrebnog vremena da bi se završio dati radni ciklus. Ciljevi standardizovanih radnih procedura u Tojoti su sledeći:

- povećanje produktivnosti, odnosno, ostvarivanje potrebne količine proizvodnje pomoću najmanjeg mogućeg broja radnika;
- balansiranje poslovnog opterećenja između svih procesa; i
- minimiziranje rada u procesima unutar proizvodnih sekvenci.

U Tojotinom sistemu, standardizovane radne procedure za definisani zadatak imaju tri (3) komponente: (1) vremenski ciklus, (2) radne sekvence i (3) standardni radni proces. Ove komponente su dokumentovane korišćenjem formi koje naglašavaju jedinstveni postupak proizvodnje u Tojoti. Oblici su, ponekad, sasvim drugačiji od onih koji se koriste u tradicionalnim inženjerskim metodama.

Vremenski ciklus i vremenski "takt". Vremenski ciklus je stvarno vreme potrebno da se završi zadatak date operacije. Ovaj put se uspostavlja vremenskom studijom pomoću štoperice. Vremenski ciklus je dokumentovan u obliku grafikona koji se zove proizvodni kapaciteti za deo. Ovaj grafikon pokazuje dnevni kapacitet proizvodnje za navedene operacije.

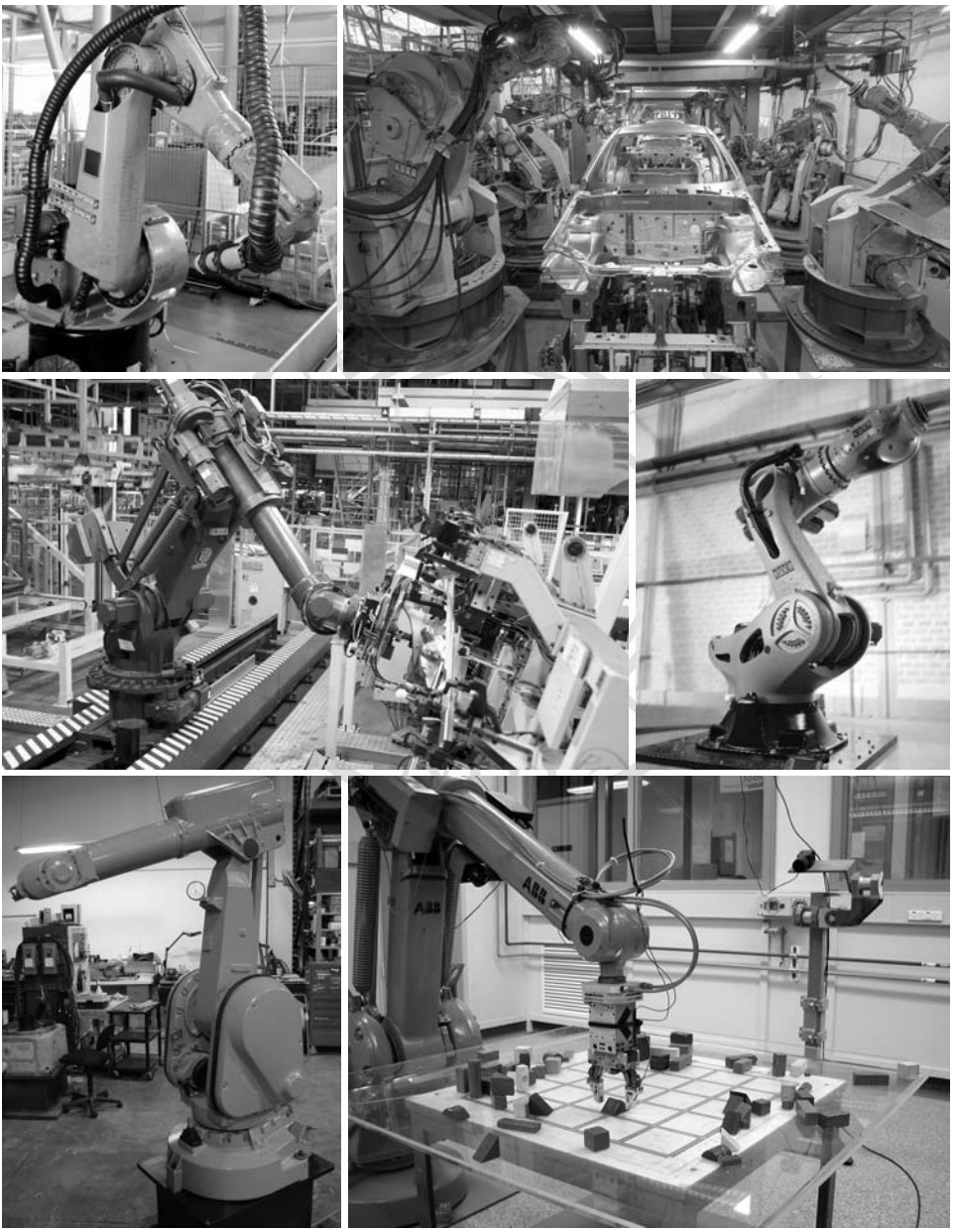
U tesnoj vezi sa vremenskim ciklusom je vremenski "takt", koji predstavlja recipročnu vrednost stope potražnje prilagođene dostupnom radnom vremenu ("takt" je nemačka reč koja znači ritam ili tempo). Za dati proizvod ili deo važi

$$T_{takt} = \frac{E_{dnevno}}{Q_{dkp}}$$

gde su: T_{takt} – vremenski takt ili takt vremena, E_{dnevno} – efektivno dnevno radno vreme i Q_{dkp} – dnevna količina potražnje. Efektivno dnevno radno vreme predstavlja skup smenskih sati svakog dana, bez oduzimanja vremena utrošenog na kašnjenje, kvarove ili druge izvore izgubljenog vremena. Dnevna količina jedinica (delova) se dobija količnikom mesečne potražnje delova sa brojem radnih dana u mesecu, bez povećanja količine kako bi se "neutralisale" neispravne jedinice (delovi) koje bi mogle biti proizvedene. Razlog što efektivno dnevno radno vreme nije prilagođeno za izgubljeno vreme i dnevne količine se ne povećavaju na račun škarta je taj što treba skrenuti pažnju na ove nedostatke, kako bi se preduzele korektivne mere, i na taj način, bi se smanjili nedostaci ili čak i eliminisali.

Radne sekvence. Radna sekvenca, koja se naziva standardna operaciona rutina, predstavlja redosled radnih elemenata ili operacija koje obavlja dati radnik kako bi ostvario dodeljeni zadatak. Za radnika koji obavlja repetitivni radni ciklus na jednoj mašini, to je spisak radnji koje se sprovode, kao što su ubacivanje radnog dela, njegovo smeštanje u ili na mašinu, angažovanje alata i istovar završenog dela na kraju radnog ciklusa. Za "multifunkcionalne" radnike, odgovorne za nekoliko mašina, svaka sa svojim poluautomatskim

ciklusom, radne sekvence ukazuje na ono šta treba da se uradi na svakoj mašini i kojim redosledom se pristupa mašinama. Često su uključeni crteži i slike kako bi pokazali pravilnu upotrebu ručnih alata i drugih aspekata radnih rutina, kao što su praktična bezbednost i ergonomski ispravan stav.



Slika 19.7. *Primena industrijskih robota u cilju pospešivanja proizvodnje*

Literatura

1. Abou-Zeid, M.R.: **Group Technology**, Industrial Engineering, May 1975, pp.32-39.
2. Anderson D.M.: **Design for Manufacturability & Concurrent Engineering**, CIM Press, 2003.
3. Mikell P. Groover: **Automation, Production Systems, and Computer-Integrated Manufacturing**, Prentice Hall, 2008.
4. Brown & Sharp (A Division of Hexagon Metrology Inc.): **Introduction to Coordinate Measuring**, CMM, Online 2000.
5. Chris McMahon, Chris McMahon: **CADCAM – Principles, Practice and Manufacturing Management**, *2nd Edition*, Prentice Hall, 1999.
6. Ibrahim Zeid: **CAD/CAM Theory and Practice**, *1st edition*, McGraw-Hill Science/Engineering/Math, 1991.
7. Kunwoo Lee: **Principles of CAD/CAM/CAE**, Prentice Hall, SAD, 1999.
8. Robert Norton: **Cam Design and Manufacturing Handbook**, *2nd edition*, Industrial Press, Inc., 2009.
9. Louis Gary Lamit: **Moving from 2D to 3D CAD for Engineering Design: Challenges and Opportunities**, BookSurge Publishing, 2007.
10. Reza N. Jazar: **Theory of Applied Robotics: Kinematics, Dynamics, and Control**, *1st edition*, Springer, 2007.
11. Peter Smid: **CNC Programming Handbook**, *Third Edition*, Industrial Press, 2007.
12. J. Austin Cottrell, Thomas J.R. Hughes, Yuri Bazilevs: **Isogeometric Analysis: Toward Integration of CAD and FEA**, *1st edition*, Wiley, 2009.
13. Bosch, John: **Coordinate measuring machines and systems**, Marcel Dekker, ISBN 0-8247-9581-4, New York, USA 1995.
14. Bevans, J.P.: **First, Choose an FMS Simulator**, American Machinist, May 1982, pp. 143-145.

15. Concas Fabio: **Design of Optimal Measurement Strategies for Geometric Tolerances Control on Coordinate Measuring Machines**, Dottorato di Ricerca in Progettazione Meccanica, Universita Degli Studi di Cagliari, Cagliari, Italia, 2006.

16. Dorrf R.C.: **Handbook of Desing, Manufacturing and Automation**, Wiley, 1995.

17. Groover M.P., M. Weiss, R.N. Nagel, and N.G. Odrey: **Industrial Robotics: Technology, Programming, and Applications**, McGraw-Hill Book Company, New York, 1986, Chapters 8, 9, 11, 17.

18. Groover, M.P. and E.W. Zimmers: **CAD/CAM: Computer Aided Design and Manufacturing**, Prentice Hall, Inc., Englewood Cliffs, N.J., 1984, Chapter 20.

19. Harrington, J.: **Computer Integrated Manufacturing**, Industrial Press, Inc., New York, 1973, Chapter 7.

20. Hendrick, T.E., Moore, F.G.: **Production/Operations Management**, Homewood, IL: Irwin, 1989.

21. Deming W. Edwards: **Nova ekonomska nauka** (prevod sa engleskog), Grmeč, Privredni pregled, Beograd, 1996.

22. Houtzeel, A.: **Classification and Coding, Group Technology, Design Retrieval, and Computer Assisted Process Planning**, Organization for Industrial Research, Waltham, Mass.

23. H.K. Shivanand, M.M. Benal, V. Koti.: **Flexible manufacturing system**, New Age International Ltd., Ansari Road, Daryaganj, New Delhi

24. **ISO 9000:2000, Quality management systems - Fundamentals and vocabulary** (JUS ISO 9000:2001, Sistemi menadžmenta kvalitetom - Osnove i rečnik)

25. James A.R., Henry W.K.: **Computer-Integrated Manufacturing**, Prenttice Hall, New Jersey, Columbs, Ohio, 2005.

26. Kusiak A.: **Intelligent Manufacturing Systems**, Prentice Hall, Eaglewood Clitts, N.J., 1990.

27. Kalpakijan S., Scmid S.R., Musa H.: **Manufacturing and technology**, Prenttice Hall, Singapur, 2010.

28. Lien, T.K.: **Designing Assembly Lines for Combined Automatic - Manual Assembly**, FAMOS Workshop: Human Factors in Assembly, Helsinki, 1990.

29. Nikolić D.: **Projektovanje tehnoloških procesa 1**, Mašinski fakultet u Beogradu, 1998.

30. Oliver R. Ilić, **Računarski integrisana proizvodnja**, Fakultet organizacionih nauka, Beograd, 2003.

31. Ivković B.: **Obrada metala rezanjem**, Jugoslovensko društvo za tribologiju, Kragujevac, 1994.

32. Milenko Heleta, Dragan Cvetković: **Osnove inženjerstva i savremene metode u inženjerstvu**, Univerzitet "Singidunum", Beograd, 2009.

33. Dragan Cvetković: **CAD/CAM – Teroija, praksa i upravljanje proizvodnjom**, Univerzitet "Singidunum", Beograd, 2010.

34. Russell R., Taylor B.: **Operations Management**, Pearson Education, 1999.

35. Tao-Hsien Hsu, Jiing-Yih Lai, Wen-Der Ueng, Jin-Zin Hwang.: **An iterative coordinate setup algorithm for airfoil blades inspection**, 26, International Journal of Advanced Manufacturing Technology, pp.797-807, 2005.

36. Tao-Hsien Hsu, Jiing-Yih Lai, Wen-Der Ueng.: **On the development of airfoil section inspection and analysis technique**, 30, International Journal of Advanced Manufacturing Technology, pp.129-140, 2006.

37. Živković S.: **Optimizacija merenja složenih prostornih oblika metodama koordinatne metrologije**, doktorska disertacija, Vojna akademija, Beograd, 2011.

38. **Zakon o klasifikaciji delatnosti i registru jedinica razvrstavanja**, (Službeni list SRJ broj 31/1996).

39. Raja, Jay: **Basic Principles of Coordinate Measuring Machines**, Project Resource, online 14. december 2000.

40. Radaković N., Ćosić I.: **Osnove proizvodnih i uslužnih tehnologija**, Radni materijal predavanja iz predmeta, FTN - Industrijsko inženjerstvo i menadžment, Novi Sad, 2007.

41. Schroeder G. Roger: **Upravljanje proizvodnjom - Odlučivanje u funkciji proizvodnje**, (prevod sa engleskog), Mate, Zagreb, 1999.

42. Tanović Lj., Petrakov J.: **Teorija i simulacija procesa obrade**, Mašinski fakultet, Beograd, 2007.

43. Ranky P.G.: **Computer Integrated Manufacturing**, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N.J., 1986.

44. Radović, M. Ilić, O.: **Proizvodni sistemi: projektovanje, analiza i upravljanje**, Kultura, Beograd, 2000.

45. Zelenović D.: **Tehnologija organizacije preduzeća**, Naučna knjiga, Beograd, 1995.

46. Swift K.G., Booker J.D.: **Process selection**, Arnold, London, 1997.

47. Ranky P.G.: **The design and Operation of FMS**, IFS Pub. UK, 1988.

48. Živković S.: **Računarski podržana inspekcija**, Mašinski fakultet, 25. Savetovanje proizvodnog mašinstva Jugoslavije sa međunarodnim učešćem, Beograd, 1994.

49. Kalajdžić M.: **Tehnologija mašinogradnje**, deseto izdanje, Mašinski fakultet Univerziteta u Beogradu, 2006.

50. Kalajdžić M. i grupa autora: **Tehnologija obrade rezanjem - priručnik**, Mašinski fakultet u Beogradu, 1998.

51. Živković S.: **Inspection of Geometrical Symmetry Applied on Free-Form Surfaces**, SANU, Applied Physics in Serbia, Scientific Meetings, Beograd, 2002.

52. Ćosić I., Radaković N., Milić D.: **Osnove radnih postupaka u industrijskim sistemima - Priručnik za vežbe**, FTN - Institut za industrijske sisteme, Novi Sad, 1991.

53. Rygh, O.B., **Integrated Storage and Manufacturing Functions**, Fall Industrial Engineering Conference, Toronto, Canada, November 1983.

54. Parrish D.J.: **Flexible Manufacturing Butter Worth**, Heinemann, Ltd Oxford, 1993.

55. Živković S., Tumbas Z.: **Merenje uglovnog rasporeda krilnih sekcija modela raketa**, Mašinski fakultet, 28. JUPITER konferencija; 8. Simpozijum o kvalitetu, Beograd, 2002.

Sajtovi sa Interneta u vezi sa materijom

- http://en.wikipedia.org/wiki/Computer-integrated_manufacturing
- http://en.wikipedia.org/wiki/
- http://www.technologystudent.com/index.htm
- http://www.enotes.com/management-encyclopedia/
- http://elearning.drcetiner.com/course/category.php?id=3
- http://www.engr.wisc.edu/ie/courses/ie605.html
- http://ie244.cankaya.edu.tr/
- http://ieeexplore.ieee.org/xpl/freeabs_all.jsp?arnumber=580611
- http://faculty.ksu.edu.sa/alahmari/Pages/IE460.aspx
- http://sites.google.com/site/coursesbyprofsahu/Home/
- http://www.doe.in.gov/octe/technologyed/pltw-compintegration.html
- http://www.csulb.edu/colleges/coe/mae/views/courses/engr/