

**УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ
МАШИНСКИ ФАКУЛТЕТ**

БОРЉЕ ЗРНИЋ

**ФАБРИЧКА ПОСТРОЈЕЊА
И ТЕХНИЧКА ЛОГИСТИКА**

БЕОГРАД, 2016.

**УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ
МАШИНСКИ ФАКУЛТЕТ**

БОРЪЕ ЗРНИЋ

**ФАБРИЧКА ПОСТРОЈЕЊА
И ТЕХНИЧКА ЛОГИСТИКА**

БЕОГРАД, 2016.

Проф. др Ђорђе Зрнић

**ФАБРИЧКА ПОСТРОЈЕЊА
И ТЕХНИЧКА ЛОГИСТИКА**

I - издање

Рецензенти:

Проф. др Срђан Бошњак

Доц. др Ненад Косанић

Издавач:

МАШИНСКИ ФАКУЛТЕТ

Универзитета у Београду,

Улица Краљице Марије 16, 11120 Београд 35

tel. (011) 3370 760

fax. (011) 3370 364

За издавача:

Проф. др Радивоје Митровић, декан

Главни и одговорни уредник:

Проф. др Милан Лечић

Одобрено за штампу одлуком Декана Машинског факултета у
Београду бр. 25/16 од 07.10.2016.

Тираж: 300 примерака

Штампа:

PLANETA - print

Игора Васиљева 33г, Београд

tel/fax: (011) 5506 564

Београд, 2016.

Забрањено прештампавање и фотокопирање.

Сва права задржавају издавач и аутор.

ПРЕДГОВОР

Књига **ФАБРИЧКА ПОСТРОЈЕЊА И ТЕХНИЧКА ЛОГИСТИКА** је намењена првенствено студентима Машинског факултета у Београду за мастер академске студије на модулу за Транспортно инжењерство, конструкције и логистику, чији је носилац Катедра за механизацију. Садржај књиге треба да уведе студенте у логику пројектовања фабрика, фабричких постројања, транспортних и складишних система, да развије њихове креативне и иновативне способности за пројектовање индустријских система који на најбољи начин треба да допринесу укупној ефикасности производње, складиштења и услужних делатности, доприносећи тако укупном степену развијености привреде земље.

Књига уводи читаоца у нову филозофију, главне проблеме, приступ и методе савременог пројектовања. Системски приступ у решавању проблема, развијању нових метода и моделирању процеса произилази из резултата вишегодишњих истраживања, објављених стручних и научних радова и конкретних решења (пројеката) и изведених објеката у земљи и иностранству самог аутора, тако да има и елементе монографског карактера.

Садржај, приступ и организација материје обезбедили су све предуслове да књига Фабричка постројења и техничка логистика буде не само уџбеник мастер студија машинства, већ и веома корисна литература за све стручњаке који се баве истраживањем и развојем метода пројектовања, као и конкретним пројектовањем сложених система механизације транспорта.

У првом поглављу читалац се уводи у основне проблеме савременог пројектовања, сам процес и методологију пројектовања. Изложене су основе системског приступа решавању проблема, формирању и коришћењу модела у процесу пројектовања. На примерима је дата процедура формирања алтернатива, избор критеријума и примена вишекритеријумске анализа при оцењивању решења.

У другом поглављу су дата општа упутства за пројектовање; садржај технолошких пројеката од Генералног до Главног и на крају Пројекта изведеног објекта; основни прорачуни за производну опрему, радну снагу и неопходне површине.

Треће и четврто поглавље обухватају основни приступ пројектовању и неопходне методе; Р - Q анализу; прекидне, континуалне и комбиноване системе, флексибилне производне системе; Формирање просторне структуре (израда layout-a).

Предговор

У петом и шестом поглављу, Кретање материјала и Унутрашњи транспорт, изложени су поступци анализе токова материјала, њихово моделирање и методе решавања унутрашњег транспорта; модели за анализу кретања материјала; пројектовање великих и сложених транспортних система; TPD (Total Performance Design) метод и моделирање система.

У седмом поглављу су дате методе формирања диспозиционог плана и графичке презентације решења за постављање опреме, пријемно-отпремне рампе, главне саобраћајнице итд. Ово поглавље садржи низ решења (пројеката) које је аутор реализовао у инжењерској пракси на основу којих су изведени објекти.

Поглавља 8 до 12 садрже материју неопходну за формирање ситуационог плана, као и неопходне подлоге за постављање пројектног задатка за пројекте грађевинске изградње, снабдевања енергијом, развод флуида, грејање проветравање и отпрашивање, итд.

Поглавље 13 обрађује проблематику пројектовања складишта. Дат је потпуни системски прилаз избору технологије и начину решавања. Посебна пажња је посвећена припреми робе за дистрибуцију - комисионирање, процесу који ствара велике трошкове, а који је веома значајан за савремени начин пословања складишта. Посебна пажња је посвећена аутоматским складиштима и развоју савремених шатл (Shuttle) система возила и iBOT или целуларних транспортних система (Cellular transport systems), као најновијих достигнућа транспортне технике. Наводи се систем Систем "Multi Shuttle Move", пројектован у институту Fraunhofer IM у сарадњи са компанијом DEMATIC.

Поглавље 14 садржи основне појмове техничке логистике; синхронизацију тока материјала и информација; логистички систем и пројектовање логистичког система.

Прво издање уџбеника за предмет Фабричка постројења: Приручник за пројектовање радионица је издато 1969. године, друго издање: Фабричка постројења је штампано 1987. године, а треће издање са називом Пројектовање фабрика 1993. године. Ово издање представља потпуно нову концепцију која користи претходна издања као референце. Књига је унапређена и допуњена савременим методама и новим технологијама.

Овом приликом захваљујем се професору Машинског факултета др Срђану Бошњаку и доценту др Ненаду Косанићу на обављеној рецензији и корисним примедбама, као и сараднику у настави Милошу Ђорђевићу на техничкој припреми књиге за штампу.

У Београду,
04.09.2016. године

Аутор

САДРЖАЈ

1. УВОД	1
1.1. Циљ пројектовања.....	1
1.2. Пројектовање у савременој пракси	1
1.3. Основни приступ пројектовању	6
1.4. Пројектовање као логички процес	12
1.5. Резултати примене савремених метода пројектовања	16
1.6. Системски приступ	17
1.7. Анализа система	23
1.8. Субоптимизација у операционим проблемима	26
1.9. Модел	27
1.9.1. Аналитички модели - примери	31
1.10. Метода планирања	38
1.11. Формирање алтернатива	40
1.12. Избор алтернатива у процесу пројектовања	43
1.12.1. Избор и вредновање система	43
1.12.2. Анализа корисности	46
1.12.3. Избор типа скале	49
1.12.4. Одређивање тежине критеријума	50
1.12.5. Метода сукцесивне апроксимације	52
1.12.6. Синтеза вредности	52
1.13. Примена вишекритеријумске анализе у процесу избора палетног складишта	54
1.14. Примена вишекритеријумске анализе у избору транспортног система	61

1.15. Изградња објеката	67
1.16. Техничка документација	68
1.17. Израда и прикупљање предпројектне документације за технолошки пројекат	71
1.18. Пројектни задатак	72
1.19. Избор локације	74
1.20. Програм производње	75
1.21. Обим производње и технички капацитет	76
1.22. Састав фабрике	78
1.23. Основни техничко-економски показатељи	79
2. ОПШТА УПУТСТВА ЗА ПРОЈЕКТОВАЊЕ	81
2.1. Садржај технолошког пројекта	82
2.2. Обавезни општи прилози у пројекту	84
2.3. Услови за пројектовање	84
2.4. Технолошки пројекат	85
2.5. Документација технолошког пројекта	85
2.5.1. Генерални пројекат	86
2.5.2. Идејни пројекат	86
2.5.3. Главни пројекат	87
2.5.4. Извођачки пројекат	88
2.5.5. Пројекат изведеног објекта	88
2.6. Поступак пројектовања	88
2.7. Режим рада	91
2.8. Фонд времена рада	98
2.9. Прорачун производне опреме	98
2.10. Прорачун радних места у монтажним радионицама	101
2.11. Прорачун радне снаге	103
2.12. Прорачун потребних површина	106
2.13. Површине помоћних одељења и радионица	109
2.14. Одређивање функционалних површина	110
3. LAYOUT	113
3.1. Реконструкција производног погона	115
3.2. Основни приступ пројектовању	118
3.3. P - Q анализа	119
3.4. Формирање layout-a	121
3.5. Прекидни системи	122

3.6. Континуални системи	126
3.6.1. Неопходни услови	131
3.6.2. Поступак пројектовања	131
3.6.3. Кретање материјала	134
3.6.4. Задата ограничења	135
3.6.5. Застој у раду линије	136
3.6.6. Основне карактеристике континуалних система	137
3.7. Комбиновани системи	138
3.8. Системи са фиксним позицијама производа	146
3.9. Флексибилни производни системи (FPS)	146
3.9.1. Транспортни подсистем флексибилног производног система	148
3.9.2. Основне карактеристике флексибилне производње	152
3.9.3. Layout флексибилне производње	157
3.9.4. Радна места	159
4. РАЗМЕШТАЈ ОПРЕМЕ И ПРОСТОРА	167
4.1. Формирање просторне структуре	169
4.2. Одређивање транспортног учинка	171
4.3. Матрица од - до	173
4.4. Матрица међазависности активности	175
4.5. Метода троугла	181
4.6. Метода кругова	183
4.7. Програми за размештај опреме	185
4.8. Предности и недостаци програма	191
5. КРЕТАЊЕ МАТЕРИЈАЛА	193
5.1. Општи проблеми	195
5.2. Основни принципи решавања проблема кретања материјала	196
5.3. Принцип јединичног терета	200
5.3.1. Избор транспортне јединице (ТЈ)	201
5.3.2. Пројектовање система јединичног терета	201
5.3.3. Формирање јединичног терета	203
5.3.4. Стабилност терета на ТЈ	203
5.3.5. Ефикасност коришћења ТЈ	204
5.4. Пројектни задатак за решење кретања материјала (неопходни подаци)	204
5.4.1. Подаци о терету који се транспортује	204
5.4.2. Својства материјала који се транспортује	204
5.4.3. Јединично паковање (основно паковање)	205
5.4.4. Транспортне јединице (ТЈ)	205

5.4.5. Посебни утицаји	205
5.4.6. Подаци о локацији	205
5.4.7. Утицај околине	206
5.4.8. Погонска енергија	206
5.4.9. Напајање енергијом	206
5.4.10. Простор за ускладиштење	206
5.4.11. Остали подаци везани за локацију	206
5.4.12. Капацитет	206
5.4.13. Термини транспорта	207
5.4.14. Законска и друга ограничења	207
5.4.15. Остали подаци	207
5.4.16. Трошкови	207
5.4.17. Општи подаци везани за решавање транспортног проблема	207
5.5. Капацитет транспортних уређаја	207
5.6. Елементи за повезивање, спајање и раздвајање	211
5.7. Увод у анализу	220
5.8. Модели за анализу кретања материјала	222
5.8.1. Шема кретања материјала	222
5.8.2. Блок дијаграм	225
5.8.3. Дијаграм тока	227
5.8.4. Табеларни приказ процеса	228
5.8.5. Дијаграм процеса израде	229
5.8.6. Дијаграм кретања материјала	233
5.8.7. Дијаграм процеса израде за више производа	234
5.8.8. Карта тока материјала	234
5.8.9. Матрица (карта) од - до	236
5.9. Поступак R. Muther-а	237
6. УНУТРАШЊИ ТРАНСПОРТ	239
6.1. Увод	239
6.2. Поступак опште анализе	243
6.3. Пројектовање великих и сложених транспортних система	245
6.4. Перформансе система	254
6.5. TRD метод и моделирање система	258
6.5.1. Идентификација подсистема и елемената система	261
6.6. Утицај одржавања на функционисање контејнерског терминала	263
7. ДИСПОЗИЦИОНИ ПЛАН	269
7.1. Саобраћајнице и димензије отвора	270
7.2. Постављање опреме	273

7.3. Пријемно-отпремне рампе	278
7.4. Главне саобраћајнице и помоћне површине	280
7.5. Евакуација радника	281
7.6. Примери извођења диспозиционог плана	283
8. СНАБДЕВАЊЕ ЕНЕРГИЈОМ	287
8.1. Енергетске карактеристике производних процеса	288
8.2. Снабдевање електричном енергијом	289
8.3. Снабдевање топлотном енергијом	293
8.4. Компримовани ваздух.....	294
8.5. Снабдевање водом	295
8.6. Снабдевање горивом	296
9. ФАБРИЧКЕ ЗГРАДЕ	297
9.1. Приземне зграде	300
9.2. Спратне зграде	305
9.3. Природно осветљење зграда	306
9.4. Специфичан притисак на под од различитих врста оптерећења (kN/m ²)	308
10. ГРЕЈАЊЕ, ПРОВЕТРАВАЊЕ И ОТПРАШИВАЊЕ	309
10.1. Грејање	309
10.2. Проветравање и отпашивање	310
10.3. Заштита околине	315
11. ВЕШТАЧКО ОСВЕТЉЕЊЕ	317
12. СИТУТАЦИОНИ ПЛАН	323
12.1. Одређивање величине терена	327
12.2. Положај датог објекта у односу на друге зграде индустријског комплекса	333
12.3. Примери	335
13. СКЛАДИШТА	339
13.1. Пријем	341
13.1.1. Фронт претовара	345
13.1.2. Палетизација	347
13.1.3. Efficient Consumer Response, outsourcing, ЈИТ	350
13.2. Главно складиште	354

13.3. Прикупљање и сортирање наруџбина (припрема робе за дистрибуцију - комисионирање)	358
13.3.1. Основне функције система за комисионирање	367
13.3.2. Критеријуми за избор система комисионирања	374
13.3.3. Кретање радника и робе у систему за комисионирање	374
13.3.4. Организација процеса комисионирања наручене робе	377
13.3.5. Количина робе на локацији и димензије локације	379
13.3.6. Број локација у једном циклусу и утицај брзине и убрзања на време комисионирања	380
13.3.7. Распоред регала	381
13.3.8. Оптимални пут кретања у комисионом складишту	383
13.4. Cross-Docking	386
13.5. Математички модел процеса комисионирања	389
13.5.1. Одређивање динамичког времена комисионирања	391
13.5.2. Време комисионирања при дводимензионалном кретању	396
13.6. Паковање	404
13.7. Утовар и отпрема	405
13.8. Систем за управљање и контролу рада складишта	406
13.9. Планирање тока материјала	407
13.10. Обликовање простора складишта готових производа	408
13.11. Одређивање складишног простора	409
13.11.1. Одређивање димензија регалног складишта	411
13.12. Показатељи рада складишта	413
13.13. Аутоматска складишта	413
13.14. Аутоматска складишта (AS/RS) и Under Pallet Carrier	414
13.15. Mini load складишта	419
13.16. Карусели, хоризонтални и вертикални	426
13.17. Управљање аутоматским складиштима	428
14. ЛОГИСТИКА	431
14.1. Синхронизација тока материјала и информација	435
14.1.1. Е-логистика	436
14.1.2. Паковање	436
14.1.3. Складишна логистика и токови материјала	438
14.1.4. Актуелни захтеви интралогистике	439
14.1.5. Информациона логистика и системи за подршку у одлучивању	442
14.2. Логистички систем	443
14.2.1. Менаџмент логистичког информационог система	445
14.3. Складиштење	447

14.4. Дистрибуција	448
14.5. Пројектовање логистичког система	449
14.5.1. Поступак пројектовања логистичког система	450
14.5.2. Пројектовање подсистема и елемената система	452
14.5.3. Ефективни и ефикасни систем логистике	453
14.5.4. Домаћи ресурси или outsourcing (услуге спољних сарадника)	454
ЛИТЕРАТУРА	455

3. LAYOUT

Основни циљ израде технолошког процеса је да се развије производни систем који ће да задовољи захтеве у капацитету и квалитету на најекономичнији начин. При томе, производни систем може да се дефинише као *"начин помоћу кога се трансформишу улазни ресурси у циљу стварања корисних добара (производа) или услуга"*. Језгро производног система чини комплекс технологије и људи и представља основу за постављање процеса производње.

Пројектовање успоставља просторну конфигурацију физичких елемената (опреме, радних места, постројења за опслуживање производње и обезбеђење услова рада), радне снаге и логистичких подсистема и предвиђа временску синхронизацију појединих активности тако да се остваре погодни радни услови и рационалан начин организације рада.

Физичка интеграција ових фактора је дата **layout**-ом, који приказује просторне међузависности појединих компонената, односно како су се технологија и људи уклопили у систем.

Пројектовање је процес који је стално присутан у свим производним погонима. Свака промена у асортиману производа, конструкцији или дизајну производа, количинама које се производе, методу рада, технолошком процесу или опреми може да диктира захтев за промену постојећег layout-а. Проблем може да буде ограничен на мање захвате у појединим одељењима или да обухвати целу фабрику.

Добар layout мора да буде довољно флексибилан (што се постиже још у фази пројектовања новог објекта) да би могао да прихвати евентуалне промене у току експлоатације. То треба да утиче и на формирање зграде, зато што код

3. Layout

постојећег објекта layout мора да се прилагоди његовим димензионалним и структуралним ограничењима.

Посебан утицај на формирање диспозиције погона (layout-a) имају производ, изабрани процес и очекивани ниво захтева. Улазни подаци неопходни за формирање layout-a обухватају следеће /Зрнић 1993/:

- прогнозе (време и структура захтева),
- цртеже (дефинишу све физичке и функционалне карактеристике производа); радионичку документацију која даје облик, мере, толеранције и површине које се обрађују,
- спецификације производа,
- операционе листе (дефинишу радне активности које се изводе на сваком радном месту),
- карте тока (дају редослед кретања производа),
- опис послова (број радника на сваком радном месту),
- локацију погона.

Потребно је нагласити да усвојени распоред опреме утиче на ефикасност рада, продуктивност, инвестиционе и експлоатационе трошкове датог производног система. Дobar layout треба да обезбеди:

- ефикасно искоришћење опреме и људских ресурса,
- високи степен искоришћења простора,
- ефикасно кретање материјала и људи кроз поједине фазе процеса,
- комфорну радну средину и неопходне санитарно-техничке услове,
- несметан приступ опреми ради одржавања и поправки.

Када се на основу изабраног layout-a реализује дати погон тешко је вршити ма какве измене и свака промена локације физичких елемената система изискује велике трошкове. Са друге стране, лоше пројектован layout је стално присутан у производњи и утиче на:

- стварање уских грла (утичу на реализовање задатог обима производње),
- дужину производног циклуса,
- појаву застоја (мртви ходови),
- квалитет опслуживања,
- затрпаност радних места, машина и пролаза материјалом,
- стварање лоших сигурносних услова,
- висину трошкова одржавања, итд.

Редослед основних активности при изради технолошког пројекта је приказан на слици 3-1.

3.1. Реконструкција производног погона

Пројектовање нових фабрика је релативно мало заступљено у укупном обиму пројектантских активности из ове области. Највећи број активности се односи на реконструкцију постојећих погона, која је присутна у следећим случајевима:

- промене производног програма (промена асортимана, увођење новог производа),
- проширења обима послова,
- промена проузрокованих технолошким прогресом,
- увођења нових технологија,
- замене опреме,
- усаглашавања производње са предвиђеним планом, итд.

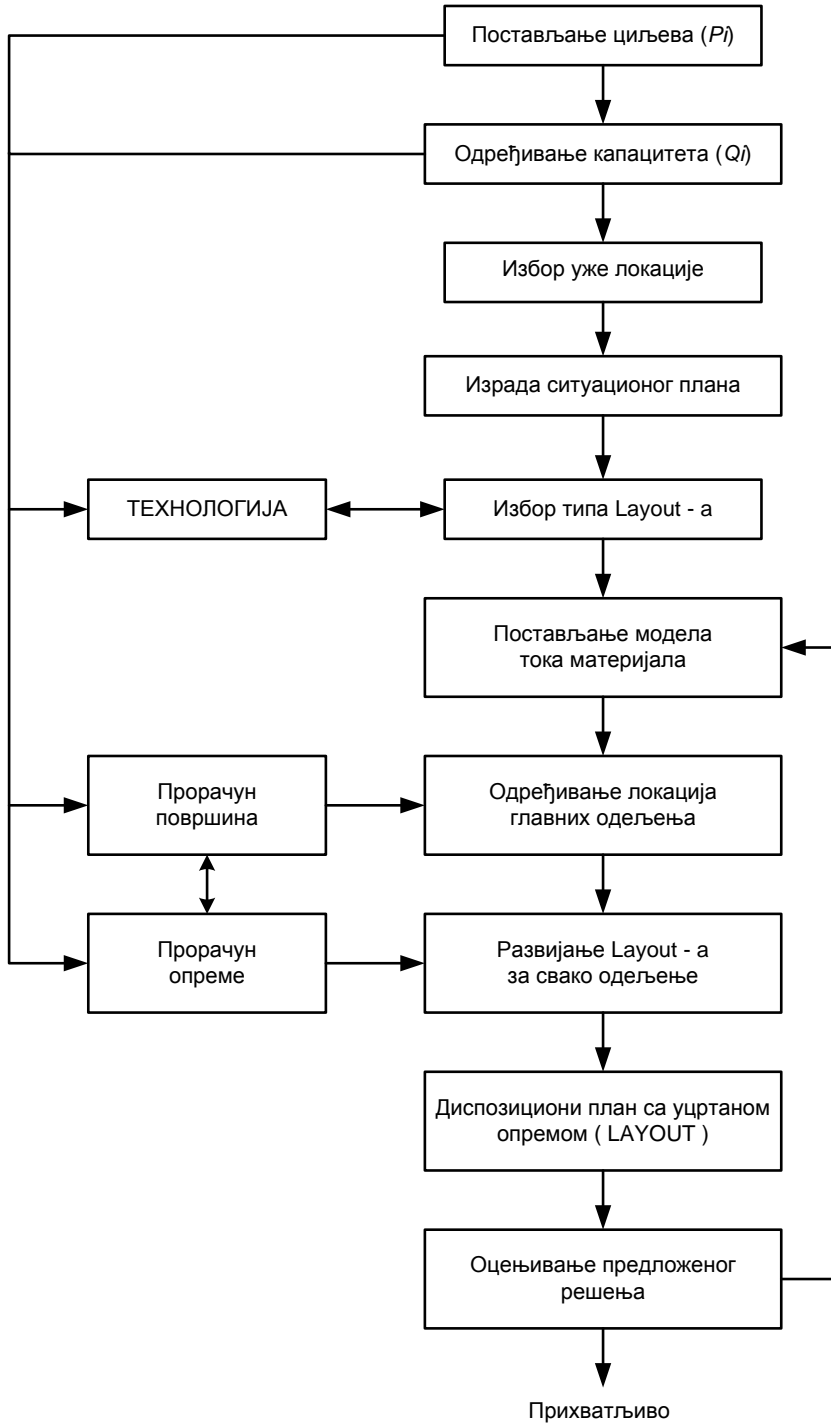
Први корак у решавању проблема је детаљно упознавање са постојећом ситуацијом. Потребно је набавити све неопходне планове постојећег погона (основе и пресеци) са спецификацијама опреме и техничким описом. Посебно треба обратити пажњу да ли су унешене евентуалне измене настале у току експлоатације, а то значи да је потребно проверити цртеже у односу на зграду и постојећи layout (цртежи су најчешће нетачни!). Потребно је обићи наведене погоне и контактирати са пословођама и руководиоцем погона прикупљајући податке о свим недостацима и предностима постојећег процеса.

У овом кораку је корисно урадити дијаграм процеса израде главних производних токова. Ово омогућава да се детаљније сагледају поједини процеси као могуће области за побољшања. Уколико су токови производа комплексни потребно је урадити карте тока или карте кретања материјала.

Потребно је проверити да ли постоји технолошка документација (технолошке карте, операционе листе са временима извођења појединих процеса), да ли иста одговара постојећем стању (могуће су разлике између података у документацији и стварног начина извођења процеса) и да ли је примењена технологија савремена. Потребно је регистровати разлике и при изради новог layout-а користити тачне податке.

Ова анализа обухвата проучавање производа и треба да установи да ли промене у конструкцији или дизајну могу да допринесу знатним побољшањима у извођењу производног процеса (на пр. промена размештаја према процесу производње на хелијски распоред машина - примена групне технологије). Такође, потребно је проучити методе рада пошто евентуалне промене могу да знатно утичу на формирање новог распореда машина.

3. Layout



Слика 3-1. Редослед основних активности при изради технолошког пројекта

Поред раније наведеног анализа треба да обухвати следеће елементе:

- **Опремену.** Какво је стање машинског парка; колико је машина амортизовано и потребно заменити или генерално оправити; да ли је то могуће у расположивом времену? Да ли се захтева набавка нових машина? Уколико се предвиђа набавка нових машина да ли ће се купити исте машине или неки нови модели? Да ли је потребно да производни капацитет буде већи и колики? Да ли постоји разлика између постојећих машина и нових у перформансама, облику и димензијама? Какви су проблеми у одржавању опреме и колико утичу на распоред опреме (пролази, радни простор итд.). Да ли постоје ограничења наметнута снабдевањем енергијом (разводне мреже, инсталације) при прикључивању опреме код евентуалне промене распореда. Колико је времена потребно за замену машина и друге опреме и евентуалну промену локације истих.
- **Грађевинске објекте.** Да ли су присутни недостаци у односу на постојећи layout и које су промене неопходне при измени layout-а. Да ли задовољавају грејање, вентилација, осветљење итд.
- **Запослено особље.** Потребно је анализирати постојећа радна места. Какав је утицај постојећег layout-а на кретање људи и да ли могу да се побољшају токови запослених код новог решења. Да ли радници стоје у току извршавања радних задатака? Да ли постоји могућност да седе и какав је ефекат на ново пројектовани layout.
- **Трошкове.** Потребно је извршити идентификацију свих трошкова (материјал, рад, енергија, осветљење, инвестиције, експлоатациони трошкови).
- **Транспорт.** Анализира се постојећи транспортни систем. Да ли је транспортни систем прилагођен технолошком процесу и layout-у? Какав је ниво механизације и аутоматизације и да ли је потребно нешто мењати у новом решењу. Каква је пропусна моћ постојећих саобраћајница, транспортних путева, пријемно-отпремних рампи, итд.
- **Складишта.** Да ли постојећа складишта задовољавају? Да ли постоје застоји услед неблаговременог снабдевања? Да ли постоји унификација транспортних и складишних јединица? Какав је ниво информационе повезаности појединих складишта са производњом? Да ли постоје уска грла у међуфазним складиштима?
- **Информациони систем.** Анализира се ниво повезаности појединих одељења и служби. Како је организовано праћење материјала. Да ли постоје уска грла и зашто?
- **Заштиту на раду.** Анализа постојећих мера заштите радника. Анализа радне средине (загађеност гасовима, прашином итд.).

3.2. Основни приступ пројектовању

Пројектовање производног система (фабрика, радионица, фабричких постројења) се базира на неколико основних елемената /Muther 1961/:

- **Производ** или материјал који се производи (**P**); подразумева се производ (део или склоп) или материјал који се израђује у датом погону; обликован или обрађен део, полуфабрикат, купљени део (или део из кооперације) и готов производ.
- **Количина (Q)**, односно обим колико ће да се произведе (kom., t, m², din.) или употребљава у датој производњи.

Ова два елемента представљају основу за израду технолошког пројекта и имају изванредан приоритет над другим параметрима који утичу директно или индиректно на формирање layout-a, тако да су битне све чињенице и информације о ова два елемента. После добијања потребних података о производу и количини (види производни програм), потребно је проучити производни процес, односно поступак како се дати производ (део) или материјал израђују. Значи следећи елемент је технолошки процес и под њим подразумевамо поступак, његове операције и редослед извођења операција (**R**).

Технолошки процес се даје на одређеној документацији: технолошке карте, операционе листе, дијаграм процеса израде итд. Машине и друга опрема која се користи зависе од самих операција (процеса) које мењају облик или карактеристике материјала, а редослед извођења операција (**R**) утиче на производни ток, односно распоред дате опреме. Тако да су операције обухваћене процесом и њихов редослед основа за дефинисање производног простора.

Производња не може да функционише без одговарајућих служби и радионица које нису директни учесници производног процеса, а представљају тзв. "носиоце производње" /Muther 1961/. Тако да следећи елемент који утиче на коначно обликовање једног layout-a представљају одељења, радионице и постројења за опслуживање производње и обезбеђење услова рада (**S**). Ове радионице, одељења и постројења често заузимају већу површину од производних одељења и зато је потребно да им се посвети одговарајућа пажња.

Елемент који утиче на коначно решење layout-a је време (**T**) и повезује претходна четири елемента. Време је један од примарних елемената уравнотежења операција, опреме и људског потенцијала и омогућује синхронизован рад свих учесника процеса производње. Време извођења појединих операција или процеса одређује потребан број машина (директно утиче на захтеве у простору), број радника, уравнотежење појединих фаза

процеса, дефинише производни циклус, циклус лансирања серија, попуњавања залиха итд.

R. Muther ових пет елемената назива азбуком пројектаната са којом се почиње пројектовање нових или реконструкција већ постојећих објеката, а почетак је најтежи део пројекта.

3.3. P - Q анализа

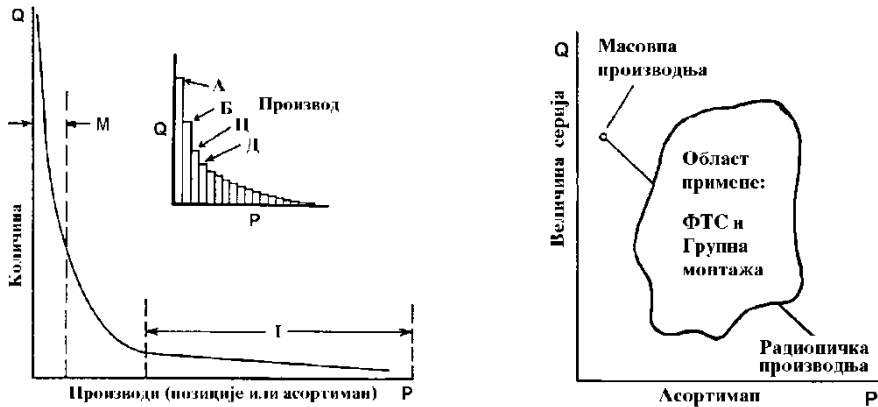
Основни елементи на којима се заснива избор решења производног постројења и обликовање његовог layout-а су производи (P_i) који треба да се произведу и количине (Q_i) колико треба да се произведе од сваке позиције. Подаци о **P** и **Q** се добијају из програма производње и потребно је у почетној фази пројектовања разјаснити њихов међусобни однос.

P - Q анализа представља базу за одлучивање пројектанту, који основни тип производње да усвоји, односно како да изврши распоред производне опреме. Да ли да усвоји јединствени производни систем у оквиру једне радионице или да изврши поделу на два или више система. Ова анализа обухвата упоређивање односа броја различитих комада (производа) и количине у којој се производе и представља значајан део пројекта, тако да утиче на избор layout-а, решење унутрашњег транспорта и процес складиштења.

У првом делу анализе се групишу (према конструктивним, габаритним, масеним и технолошким карактеристикама) производи, односно позиције обухваћене производним програмом, а у другом делу се израчунавају количине за сваку групу, позицију или производ. Добијени резултати се уносе у дијаграм. При израчунавању количине (Q) за ма који производ или позицију најповољније је узимати стварне вредности (број комада, маса, запремина), а не финансијске показатеље. Јединица мере зависи од природе производа или позиције које су обухваћене анализом.

P - Q дијаграм (слика 3-2) има фундаменталну повезаност са layout-ом који се планира. Са леве стране криве се налази релативно мали број производа који се израђују у великим количинама. Ово је битан услов масовне производње (најчешће линијска производња), високопродуктивне машине, континуални транспорт, високи степен механизације и аутоматизације производних процеса и система кретања материјала кроз процес. Оправдане су инвестиције за набавку скупе специјализоване опреме уколико је загарантована сталност производног програма за дужи временски период.

3. Layout

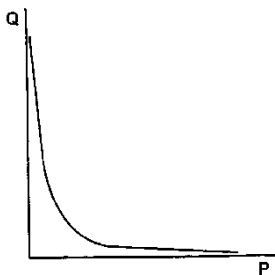


Слика 3-2. P - Q дијаграм, према R. Muther-у

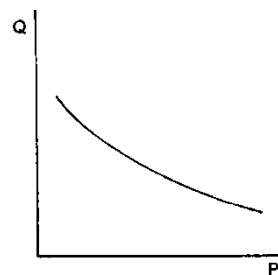
На десном крају криве присутан је велики број различитих производа који се израђују у релативно малим количинама. Ово су услови погодни за појединачну или малосеријску производњу; предвиђа се тзв. радионичка производња, односно layout се формира према процесу обраде. Опрема је универзална, погодна за извођење различитих операција; користе се мобилни уређаји и кранови за формирање транспортних система. Могуће су честе промене у производном програму тако да се не исплате велика улагања у транспорт.

Средњи део криве представља комбинацију ова два распореда машина или радних места (примена групне технологије, групне монтаже, или флексибилних производних система).

Резултати P - Q анализе могу да дају основне смернице за избор layout-а у почетној фази пројектовања, односно да ли ће бити извршена подела на две или више производних целина. Када крива P - Q дијаграма има облик као на слици 3-3 најповољније је потпуно раздвојити радионичку производњу од линијске. Поред разлике у концепцији layout-а захтевају се различита опрема, транспортни систем и многи други фактори. Облик криве на слици 3-4 показује да је погодно усвојити јединствени layout.



Слика 3-3. Раздвојена производња



Слика 3-4. Јединствени layout

Постоје ограничења примене **P - Q** дијаграма и то посебно када су производи или процеси потпуно различити. У том случају подела на поједине радионице се базира на једном од следећих фактора:

- природи производа (облик, маса, габарит),
- материјалу,
- поступку обраде (технолошке карактеристике, редослед операција),
- захтеваном квалитету,
- опреми (код реконструкције постојећих погона),
- врсти зграде,
- опасности за запослене у процесу,
- организационој структури,
- врсти енергије која се користи у процесу,
- вредности појединих делова, због ризика од губитка или крађе, итд.

Анализирајући наведене факторе образују се групе сличних делова и потом може да се примени **P - Q** анализа за сваку групу посебно. Треба напоменути да када се у фази пројектовања производа изврши унификација и стандардизација појединих компонената, повећава се обим производње за поједине позиције и смањује асортиман производног програма. Ово утиче на промену структуре **P - Q** дијаграма.

3.4. Формирање layout-а

Основу за пројектовање диспозиције опреме (формирање layout-а) чини ток технолошког процеса (код пројектовања радионица) или функција објекта (код пројектовања складишта). Код производних погона (радионица) распоред опреме и радних места може да се формира на следеће начине:

- према процесу који се одвија у појединим функционалним целинама (груписање машина према врстама послова), тзв. прекидни системи,
- према производу (када распоред следи захтеве одређених производа), односно према редоследу извођења технолошких операција, (груписање машина према редоследу послова), тзв. континуални системи,
- комбиновањем два претходна начина (производња у "хелијама" или групна монтажа, односно стварање аутономних радних јединица, флексибилна производња), и
- са фиксним позицијама производа.

Распоред опреме и појединих одељења у складиштима и многим помоћним одељењима се изводи према основној функцији коју обављају. Код складишта

3. Layout

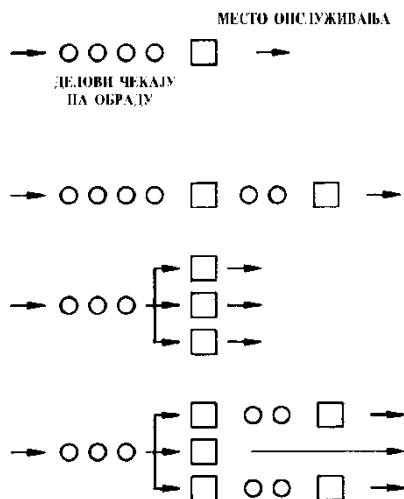
основна функција је чување залиха, тако да је некада значајније искоришћење простора од трошкова транспорта.

3.5. Прекидни системи

Распоред машина и радних места према процесу се примењује обично у појединачној и малосеријској производњи, односно тамо где се у истом погону производи и склапа широки асортиман производа. Машине, радна места и процеси се групишу према функцији коју обављају. Нпр. груписање машина према врсти обраде (стварају се одељења појединих типова машина: стругова, рендисаљки, глодалица итд.)

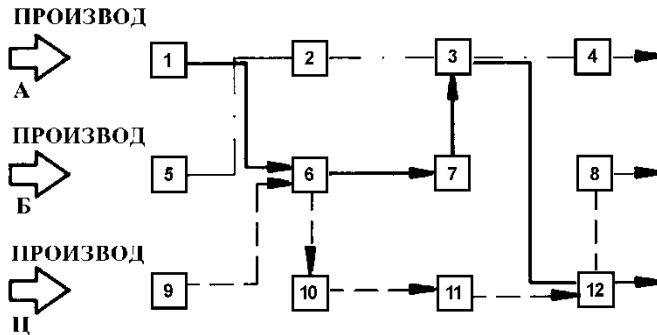
Свака позиција (комрад) може да има различити скуп операција и различити редослед њиховог извођења. Позиција се обрађује следећи редослед процеса, али пошто поступак који се изводи и редослед извођења процеса варира зависно од сваке позиције из датог скупа делова, оптерећење радних места (машина) је променљиво и зависи од врсте и обима послова у систему. Технолошка документација детерминише процес и време потребно за његово извођење.

Машине, радна места или одељења, при анализи производног тока могу да се посматрају као места (центри, станице) опслуживања, зато што су испуњени општи услови система чекања (видети литературу о теорији чекања /Зрнић, Савић 1997/, и др.) са променљивим процесом опслуживања. При томе, општа структура система (одељење или радно место) може да буде представљена ма којом од четири основне конфигурације система опслуживања (слика 3-5).



Слика 3-5. Основне конфигурације система опслуживања

Када се посматра прекидни систем као целина (радионица) може се замислити као мрежа састављена од различитих подсистема чекања (одељења, машине или радна места) са различитим путањама кроз систем које зависе од дате позиције и захтеваног поступка обраде (слика 3-6).



Слика 3-6. Мрежа састављена од различитих подсистема чекања

Очигледно је да значајан проблем у пројектовању прекидних система представљају локације појединих места опслуживања (одељења, радних места). Пожељно је да се локације које имају највећу интеракцију поставе једне до других. Код производних погона близина појединих локација смањује трошкове транспорта, а у предузећима која пружају услуге (ремонт, сервис) близина редукује време извођења процеса у систему.

Пошто различити послови имају различите захтеве, неопходно је интегрално размотрити све путање у систему при одређивању најповољнијег релативног положаја локација.

Пројектовању распореда опреме и радних места може да се приступи постављајући квантитативну зависност појединих локација, тако да функција циља може да буде изражена у мерљивим величинама (транспортни учинак, број циклуса итд.). При томе се као критеријум најчешће користи минимизација трошкова унутрашњег транспорта у производним погонима или минимизација времена кретања запослених у предузећима која пружају услуге. Укупни трошкови кретања материјала за дати layout могу да се одреде из следећег израза:

$$T = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n N_{ij} \cdot l_{ij} \cdot c_{ij}, \quad i, j = 1, 2, 3, \dots, n$$

где је:

N_{ij} - број циклуса између локација i и j ,

l_{ij} - растојање између локација i и j ,

c_{ij} - трошкови по јединици пута и циклусу између локације i и j ,

n - број локација.

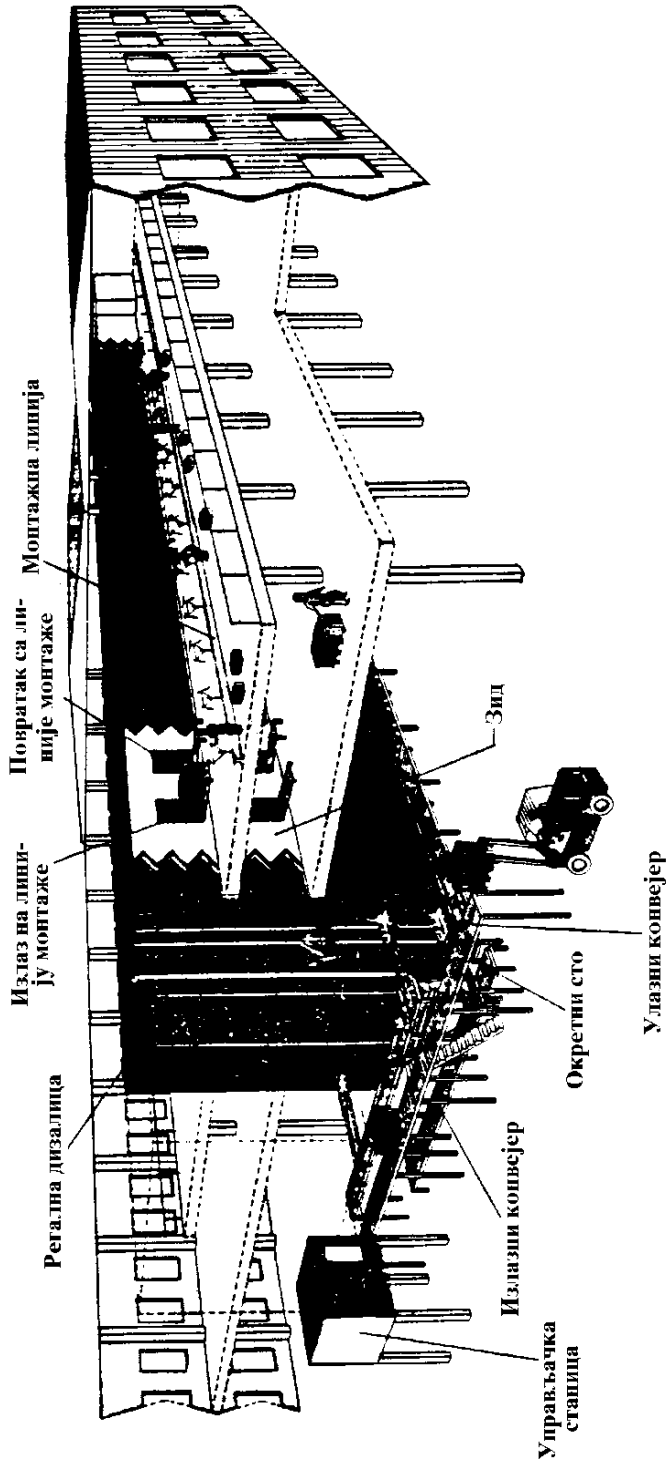
3. Layout

Број циклуса (N_{ij}) и јединични трошкови (c_{ij}) су константни и не зависе од положаја дате локације. Растојања појединих локација (транспортни путеви) зависе од изабраног layout-а, тако да за један иницијални распоред опреме могу да се израчунају укупни трошкови транспорта. Побољшање layout-а се постиже мењањем положаја појединих локација које утичу на смањење укупних трошкова транспорта. Овај поступак тешко може да доведе до оптималног решења и зато захтева анализу свих могућих комбинација што је у једном реалном проблему тешко постићи и применом рачунара када је присутан велики број локација. Зато се при анализи тражи повољно решење, односно најбоље од анализираних.

При пројектовању радионица интермитентних система токови се крећу најчешће директно из одељења у одељење и при томе се најчешће у оквиру одељења налазе међуфазна складишта. Значајно питање које треба анализирати је случај када се користи заједничко међуфазно складиште. Овакво решење има извесне предности због добре контроле у мањим погонима и поред повећаних трошкова транспорта (до и од складишта). У појединим случајевима може да се користи јединствени складишни систем (за репроматеријал, међуфазно складиштење и чување готових производа), што доводи до стварања интегралних производних система (слика 3-7).

Основне карактеристике прекидних система:

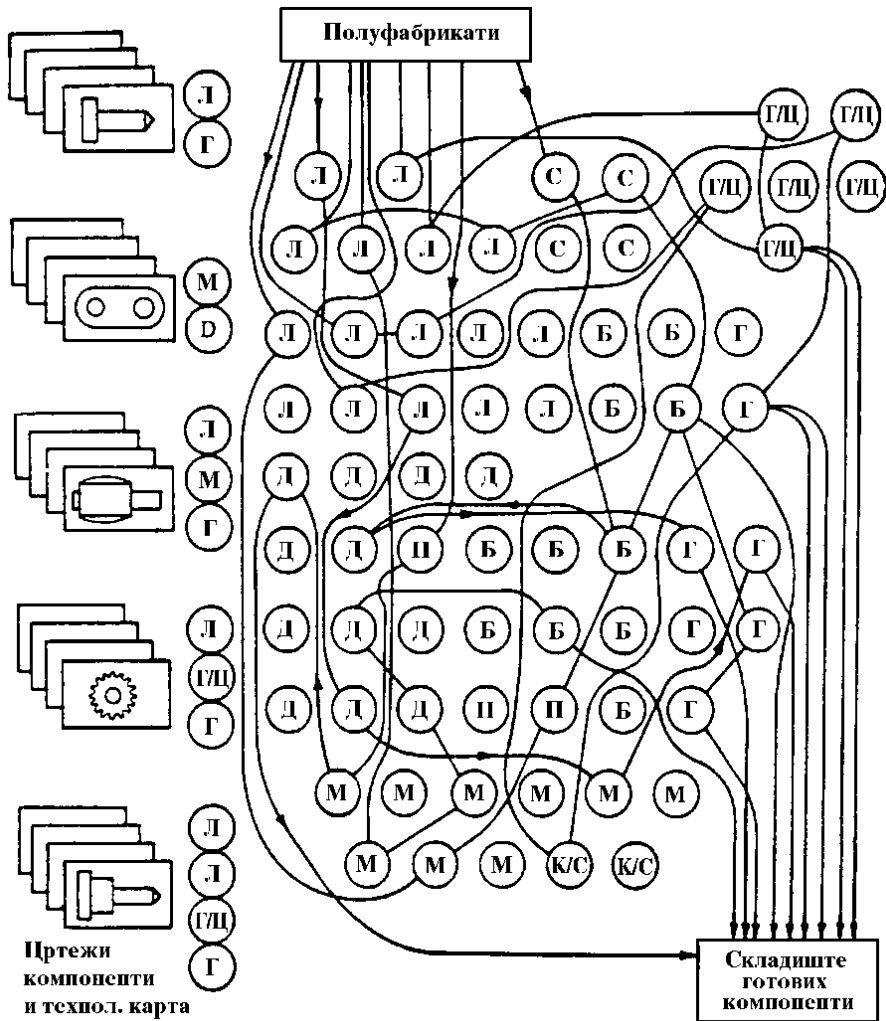
- Погодни су за мале обиме производње када производни програм садржи широки асортиман производа.
- Економични су у случајевима када природа система захтева флексибилност (универзална производна и транспортна опрема). Захтевана флексибилност може да буде различита у: обиму сваке наруџбине, промени асортимана производа, захтевима процеса за позицију која се израђује, дизајну производа, путевима кроз систем, итд.
- Послови који резултирају су шири у обиму и захтевају шири спектар знања (специјализација у оквиру поља активности). Захтевају се универзални радници високих квалификација.
- Лакше се остварује критеријум задовољства у раду него када специјализација резултира у активностима које се стално понављају (линијска производња).
- Велики обим транспорта у производњи. Дуго задржавање позиција у процесу; велика количина недовршене производње.
- Потребна велика површина за међуфазна складишта.
- Релативно мала инвестициона улагања.



Слика 3-7. Интегрални производни систем

3. Layout

На слици 3-8 је дата шема кретања појединих позиција (осовинице, плочице, зупчаници итд.) кроз процес при функционалном распореду машина. Машине, односно процеси су означени словима.



Слика 3-8. Процес код функционалног распореда машина

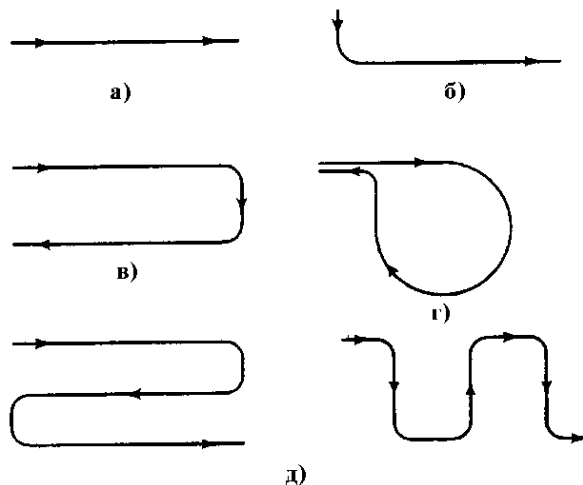
3.6. Континуални системи

Производна линија представља уређени радионички простор у коме се радне операције нижу непосредно једна за другом тако да се производ креће одређеном брзином кроз низ операција које се међусобно допуњавају и омогућавају једновремени процес рада дуж линије.

Постављање машина и радних места према производу (линијски распоред) се примењује у масовној и серијској производњи. Машине се постављају према редоследу технолошких операција (нпр. струг, глодалица итд.), за обраду истоимених делова или за неколико различитих радних предмета са истим или сличним поретком операција. У радионицама масовне производње на једној линији (трансфер линије) обрађује се само један део (нпр. блок мотора). У погонима серијске производње на датој линији се најчешће обрађује више различитих делова, који имају исти или сличан распоред операција. Ови делови се израђују у серијама које се периодично понављају.

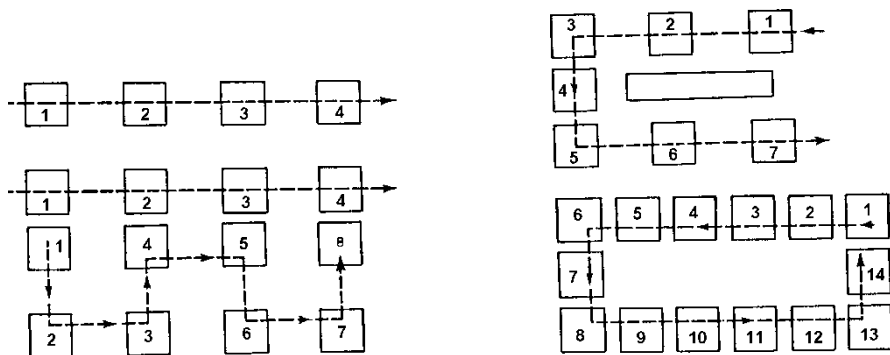
Распоред радних места у погонима монтаже треба да одговара редоследу кретања делова (компонената), подскопова и склопова по етапама монтаже. При томе layout треба да обезбеди кретање компонената између појединих монтажних операција по најкраћим путањама.

Основни токови процеса континуалних система су фиксни и прате линију која може да буде различитог облика: права линија (а), **L** линија (б), **U** линија (в), **O** линија (г) или **S** линија (види слику 3-9). Зависно од врсте и асортимана производа, обима производње, усвојене технологије, начина извођења кретања материјала и типа објекта, следећи основне токове, layout може да се развије на различите начине (слике 3-10 и 3-11). Пошто су токови фиксни распоред појединих локација је релативно једноставан, тако да је основни проблем равномерно кретање производа дуж линије, односно временско уравнотежење извођења појединих операција. То значи да опрема и људски потенцијал треба да буду синхронизовани према заједничком фактору уравнотежења (такту), који се обично дефинише као време по радном месту.



Слика 3-9. Токови процеса континуалних система

3. Layout



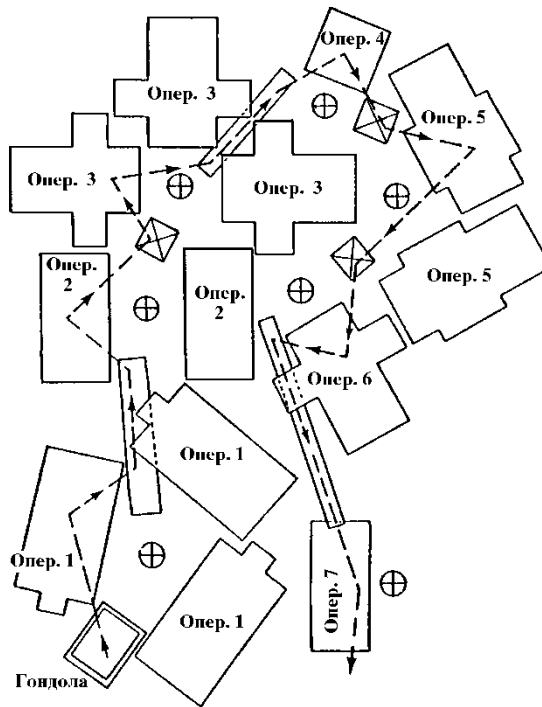
Слика 3-10. Layout код линијске проиловдње

Перфектно уравнотежење свих операција се ретко постиже зато што се често јавља неко "екстра" време у појединим операцијама датог технолошког процеса. Уравнотежење операција се теже реализује код машинске обраде делова него у процесу склапања (монтажа), због саме могућности рашчлањивања монтажних операција и премештања радника са једног на друго радно место. Процес уравнотежења може да се боље оствари у тзв. правим континуалним системима (производња уља, шећера, хемијска индустрија итд.).

При пројектовању оваквог производног система највећи проблем представља одлучивање о избору времена такта и о подели рада. При томе је потребно уравнотежити различите активности, технолошки зависне тако да се свака операција извршава у одговарајућем периоду времена.

Да би се постигло уравнотежење линије потребно је знати времена свих активности, као и технолошка ограничења везана за редослед ових извођења. Операције монтаже треба да се разбију у најмање могуће активности. При томе се редослед операција обично приказује графички и онда се приступа груписању задатака које треба извршити.

Детерминистичка формулација уравнотежења линије користи критеријум минимизирања времена циклуса за дати број радних места. Пошто време појединих операција у општем случају представља једну расподелу вредности (у пракси је веома ретко константна величина), стохастичка природа времена по радном месту има значајан утицај на уравнотежење линије.



Слика 3-11. Пример извођења layout-а код линијске производње

Време такта пројектоване линије се одређује према уском грлу, а основни критеријум представља минимизација изгубљеног времена које се јавља у оквиру времена такта. При томе је изгубљено време дато изразом (слика 3-12):

$$d = \frac{n \cdot T_c - \sum t_{ki}}{n \cdot T_c} \cdot 100(\%),$$

где је:

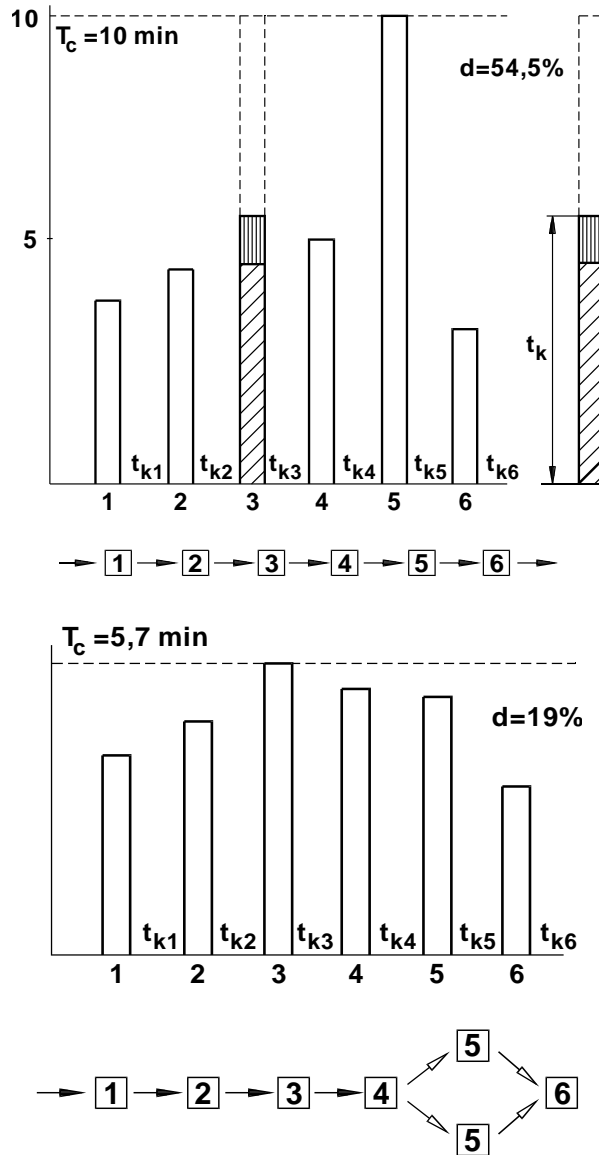
T_c - време такта,

n - број радних места дуж линије (број тактова),

$\sum t_{ki}$ - сума највећих времена извођења појединих операција (групе операција) у оквиру такта.

Пошто наведене релације дају стање проблема у најједноставнијем облику, не обухватају низ ограничења који чине проблем у пракси много комплекснијим. У следећим поглављима се даје преглед неких утицајних фактора добијених анализом постојећих погона /Зрнић и др. 1983/84/.

3. Layout



Напомена: Време обраде је означено косом шрафуром, време потребно за манипулацију материјалом вертикалном шрафуром, а време чекања испрекиданом линијом. Испод дијаграма су дати упрошћени layout-и линије монтаже пре и после првог корак ака уравниотежења.

Слика 3-12. Линија монтаже пре и после првог корак ака уравниотежења.

3.6.1. Неопходни услови

Морају да егзистирају извесни услови да би линијска производња могла нормално да функционише и да њено коришћење буде једноставно и економично:

- Производни програм мора да буде стаалан за један дужи временски период.
- Количина, односно обим производње (величине серија) мора да буде довољан да покрије трошкове постављања линије.
- Програм производње мора да се састоји из релативно малог броја различитих производа који се производе у релативно великим количинама. Програм садржи један стандардизовани део или производ, или групу у основи стандардизованих делова или производа.
- Времена извођења појединих операција на линији морају да буду приближно иста (производња треба да је временски уравнотежена), односно кретање производа дуж линије треба да се синхронизује заједничким фактором уравнотежења (време такта). Фактор уравнотежења дефинише време по радном месту.
- Производна линија треба да обезбеди континуалност процеса, зато што због застоја на једној машини или радном месту може да стане цела линија. То значи да је потребно предузети превентивне мере да би се осигурало континуално снабдевање материјалом, деловима или појединим склоповима на монтажи и да се спрече сви кварови на опреми (захтева се висока поузданост производне и транспортне опреме).
- Производ мора да буде тако конструисан да поред функционалности обезбеђује једноставну израду или склапање на линији. Потребно је обезбедити заменљивост делова.
- Конструктивна и технолошка документација треба да буду стручно и прецизно урађени да обезбеде једноставну израду и склапање производа.

3.6.2. Поступак пројектовања

На почетку разраде пројекта потребно је одредити специфичан износ производње (најбоље дневни или недељни обим производње) и укупну планирану количину која треба да се произведе у задатом временском периоду. Када се прикупе ове чињенице приступа се планирању операција, одређивању њиховог редоследа и избору захтеване опреме.

Све операције и редослед њиховог извођења треба да су прецизно дефинисани. При томе операције треба тако расчланити да извођење појединих

3. Layout

елементарних операција не одступа много од такта производње. *Елементарна операција је дефинисана као најмања јединица рада (или производна операција) која је тако издвојена од других активности да може да се изводи независно и у различитим редоследима.*

Такт представља време захтевано за комплетирање радних задатака на сваком радном месту дуж линије. То значи да готов (комплетирани) производ излази са линије после сваког времена такта. Код перфектног уравнотежења, радни задаци у оквиру сваког такта су једнаки времену такта, што се у пракси тешко постиже. Такт се обично дефинише према уском грлу линије, односно према најдужем времену неке операције која не може да се даље расчлањава. При томе треба напоменути да избор времена такта зависи од конструктивних и технолошких захтева производа и захтеваног излаза са линије (обима производње).

Посебан проблем у пројектовању линије представља уравнотежење операција по времену (добивање приближно једнаких времена по тактовима - радним местима), а да се при томе испуни жељени обим производње у јединици времена. Уравнотежење линије је комбинаторни проблем који захтева комбинацију задатака који ће максимизирати искоришћење радних места или опреме или еквивалентно минимизирати изгубљено време.

Проблем доброг уравнотежења представља број комбинација који иде са факторијелом (10 радних задатака има 10! различитих редоследа), међутим технолошки захтеви за извођењем појединих операција редуцирају број могућих редоследа. Један од проблема је и груписање задатака (операција) по тактовима (радним местима) у оквиру рестрикција наметнутих технолошким процесом при минимизацији броја тактова за дато време такта.

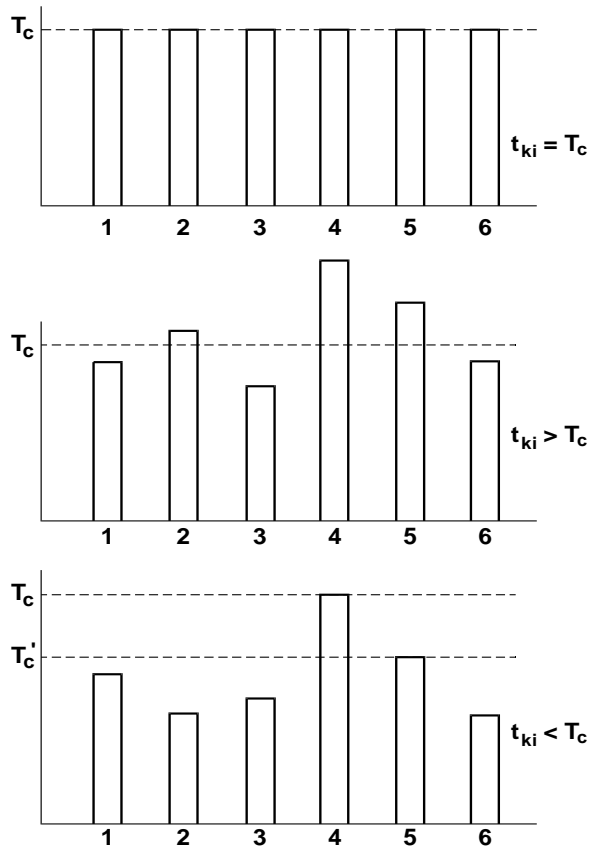
Када је задато време такта, задаци (операције) се алоцирају различитим тактовима (радним местима) све док се не поремете задаци технолошког редоследа и док укупна времена појединих задатака не пређу време такта.

При пројектовању укупног потребног броја машина на линији могу да наступе три случаја (слика 3-13):

$t_{ki} = T_c$, када је постигнуто потпуно уравнотежење линије (у пракси се ретко постиже),

$t_{ki} > T_c$, проузрокује застој на датој операцији и цела линија стоји; да би се ово отклонило за дату операцију се узима већи број машина или радних места (паралелан рад, слика 3-12); поставља се машина која може да обрађује више комада, продуктивнија машина или се покушава даље расчлањивање операција на датом радном месту.

$t_{ki} < T_c$, значи да су дате операције на линији краће од времена такта, у овом случају ритмичност линије није нарушена јер се операције обављају у оквиру предвиђеног временског интервала (T_c), али може да наступи недовољно искоришћење опреме или радних места.



Напомена: потребно је смањити трајање операције 4 и усвојити краће време такта (T_c)

Слика 3-13. Уравнотежење линије

Уравнотежавање производних операција на линији може да се обави на следећи начин:

- Побољшањем начина извођења операција (примена одговарајућих алата и прибора, промена технолошког поступка, репроматеријала, итд.).
- Увођењем паралелног рада за извођење дате операције (усвајање већег броја машина).
- Постављањем међуоперационих складишта. Овај термин означава место где се акумулира материјал који чека на неку операцију или неку

3. Layout

другу активност. Постављају се такође и на местима напајања линије материјалом (компонентама), на прелазу са једне линије на другу итд. Међуоперациона складишта треба да обезбеђују континуитет рада линије, тако да њихов капацитет мора да буде задовољавајући да спречи застоје. Капацитет ових складишта је дат изразом:

$$Z = Q_L \cdot T_z = \frac{T_z}{T_c},$$

где је:

Q_L - обим производне линије,
 Z - број комада дате позиције,
 T_z - просечно време застоја,
 T_c - време такта.

- Продужавањем радног времена машина и радника код извођења операција које представљају уско грло (рад у више смена, прековремени рад); такође је могуће део "критичних" позиција производити изван линије.

Уравнотежавање операција на линијама монтаже може да се изведе на следећи начин:

- Поделом операција и њиховом расподелом (концентрисање) по радним местима, зависно од редоследа извођења и других ограничења наметнутих технолошким процесом.
- Увођењем паралелног рада (удвајање радних места).
- Постављањем најспособнијих радника да изводе операције које су уско грло.
- Применом одговарајућих алата и прибора којима се убрзава извођење операција.
- Продужавањем радног времена радника (прековремени рад, рад у више смена).
- Постављањем међуоперационих складишта.
- Постављањем помоћних радника, који помажу при манипулацији и дотуру материјала.

3.6.3. Кретање материјала

Кретање материјала представља фундаментални део планирања линије зато што повезује све операције и утиче директно на континуалност производње. Кретање материјала мора да буде коректно планирано од самог почетка. Ово је посебно значајно зато што су поједине линије изграђене око основног транспортног средства (утицај на формирање layout-a).

У овој врсти производње користе се најчешће уређаји континуалног транспорта мада у појединим случајевима примена разних врста конвејера није економична тако да се за повезивање операција могу да користе стрме равни, ролганзи, колица или да се додају ручно комади са једне операције на другу.

Кретање радних предмета може да буде појединачно или у групи. Кретање је индивидуално ако је производ: великог габарита, масе и фиксиран за транспортни уређај, и уколико је испуњен услов да су операциона времена по појединим тактовима (радним местима) једнака. Делови се транспортују у групама када су комади малог габарита, мале масе, када се обрађује више комада заједно и када време појединих операција знатно варира.

Кретање на линији може да буде континуално или прекидно. Предност континуалног кретања је константан темпо производње, односно гарантује излаз са линије у одређеним временским размацима. Прекидно кретање се примењује у следећим случајевима /Maunard 1975/: када примена конвејера није економична, у случају када је неопходно да конвејер стоји за време обављања операција, када је ефекат рада низак уколико се радници крећу за време извођења операција и када се за рад на производу користе прилазне платформе и лествице (монтажа производа великог габарита).

Уређаји за транспорт и манипулацију имају вишеструку намену:

- за транспортовање (преношење материјала и делова) до, од и дуж линије,
- одржавају ритам рада линије константним, односно обезбеђују излаз производа са линије у једнаким временским интервалима,
- могу да носе радни предмет тако да долази до смањења непродуктивних ручних манипулација, и
- за ускладиштење делова (међуоперациона или међуфазна складишта).

3.6.4. Задата ограничења

У процесу пројектовања линијске производње присутно је низ ограничења која могу знатно да утичу на избор коначног решења. У даљем тексту ће се навести нека основна ограничења:

- Производни простор, његова површина и облик представљају једно од основних ограничења облика линије и броја тактова.
- Технолошки процес - редослед извођења појединих операција, време трајања сваке операције и његова технолошка повезаност.

3. Layout

- Физичка ограничења везана за облик и положај радних места, простор потребан за манипулацију и чување материјала и склопова који се уграђују на линији.
- Асортиман производа - за сваки посебни производ (код вишепредметних линија) треба поновити целокупну анализу рада линије и проверити искоришћење опреме (радних места).
- Време извођења појединих операција на монтажи. Уколико поједине операције превазилазе задато време проблем може да се реши повећањем броја радника, међутим, врло често се радни простор јавља као ограничење.
- Постројење за површинску заштиту када функционално и просторно представља интегрални део линије монтаже. Време такта овог постројења диктира такт линије.

3.6.5. Застој у раду линије

Поузданост линија представља један од основних елемената ефикасног функционисања линије. Као илустрација овог проблема могу да послуже подаци добијени снимањем у једној фабрици за производњу пољопривредних и камионских приколица /Зрнић и др. 1983/4/.

Анализом рада постојећих погона и мерењима је утврђено да постоји велики број фактора који утичу на застоје у процесу монтаже. У даљем тексту се наводе најугицајнији фактори и њихово процентуално учешће у односу на укупно време застоја :

- | | |
|--|-------|
| • грешке у документацији | 4 % |
| • грешке у конструкцији и изради алата | 2 % |
| • неуредно снабдевање линије | 20 % |
| • лош квалитет компонената | 20 % |
| • израда недовољног броја компонената | 20 % |
| • грешке у евидентирању | 15 % |
| • флукуација радника | 2 % |
| • неусклађеност капацитета линије монтаже са другим процесима рада | 7 % |
| • остали фактори | 10 %. |

Наведена анализа је показала да код вишепредметних монтажних линија са сличним програмом производње када се процес монтаже обавља у малим серијама са великим степеном сложености структуре производа, застоји на линији могу да износе 20 - 30 % од укупно потребног времена монтаже.

У случају када је постројење за површинску заштиту интегрални део производне линије као што је случај у наведеном пројекту, значајно је идентификовати и могуће застоје у раду овог постројења који директно утичу на рад и продуктивност целе линије. Узроци застоја у постројењу за површинску заштиту и њихово процентуално учешће у односу на укупно време застоја овог постројења су следећи:

• кварови подног транспортера	40 %
• кварови на вратима комора	30 %
• грешке у систему отпадних вода	10 %
• кварови на вентилаторима	5 %
• кварови на пумпама	5 %
• остали узроци	10 %

Укупно време застоја износи до 20 % од времена потребног за површинску заштиту производа.

3.6.6. Основне карактеристике континуалних система

Основне карактеристике континуалних система (нису сврстане према степену важности):

- Погодни су за велике обиме производње када производни програм садржи уски асортиман производа.
- Захтевају фиксни производни програм за један дужи период времена.
- Имају једноставне токове материјала и релативно мали обим унутрашњег транспорта, упрошћена је манипулација материјалом.
- Производња није флексибилна, и тешко прихвата ма какве промене; делимична флексибилност је постигнута код вишепредметних линија.
- Послови су уско специјализовани и захтевају радну снагу нижих квалификација (посебно на линијама монтаже).
- Радници се специјализују за обављање мањег броја истородних операција које се стално понављају, тако да је овде присутна специјализација на одређеној машини (радном месту), операцији и комаду.
- Омогућена је једноставна контрола процеса; мали шкарт.
- Позиције се кратко задржавају у процесу, мали обим недовршене производње.
- Рад линије у великој мери зависи од технолошке повезаности машина; застој једне машине може да изазове прекид рада линије.
- Захтевају велика инвестициона улагања.

3.7. Комбиновани системи

Комбинацијом два претходна распореда машина и радних места долази се до концепта производње по принципу групне технологије и стварања тзв. флексибилне производње, односно код склапања производа до групне монтаже - стварања аутономних радних јединица. Оваквим решењем се покушава да модификује традиционални layout према процесу, користећи при томе све предности линијске производње. Пошто постоји извесна аналогија између производње по принципу групне технологије, флексибилне производње и групне монтаже (обухватају средњи део **P - Q** криве) у даљем тексту ће се заједно разматрати, указујући на специфичности сваке од њих.

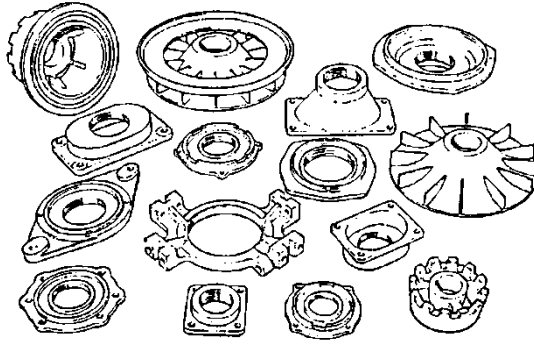
Групна технологија представља организацију производних средстава у групе или ћелије, где свака од њих преузима потпуну производњу једне фамилије компонената са сличним производним (технолошким) карактеристикама. El Rayah и Hollier /1970/ дају дефиницију: *"Групна технологија је дефинисана као техника која дозвољава производњу релативно малих количина, а да се при томе постижу економске предности линијске производње"*.

Посебно треба напоменути да је једна од главних карактеристика ове производње упрошћавање система кретања материјала и смањења манипулација. Примена групне технологије обухвата два корака:

А. Одређивање делова фамилије који имају исти или сличан редослед операција. Делови једне фамилије имају заједничке карактеристике базиране на димензијама, облику, полуфабрикату технолошким поступцима и низу других карактеристика. На слици 3-14 је приказана једна фамилија делова. У табlici 3-1 и на слици 3-15 је наведен пример једне класификације /Јамполинскии 1974/. Постоји неколико метода које се користе за идентификацију чланова фамилије:

- искуство стручњака (може да се користи само у мањим радионицама),
- свакој компоненти се додељује кодирани број, где бројеви описују све значајне карактеристике, и
- користе се програми за идентификацију.

Б. Производна опрема се расподељује у ћелије и при томе свака од њих садржи машине које се користе за извођење процеса у оквиру посебне фамилије делова (слика 3-16). Резултат оваквог распореда је стварање малих радионица у оквиру погона, односно створени су подсистеми (производне групе) људи, машина и компонената из дате фамилије, који су издвојени у погону. Поједине групе (ћелије) могу да варирају по величини.



Слика 3-14. Фамилија делова

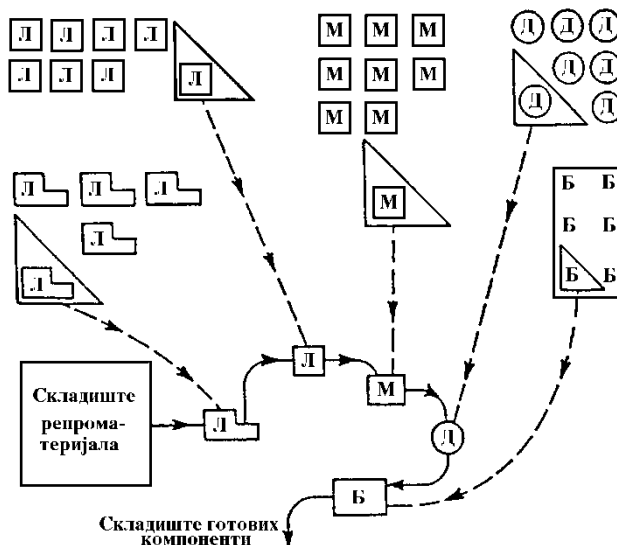
9					
8					
7					
6					
5					
4					
3					
2					
1					

Слика 3-15. Пример класификације делова

3. Layout

Таблица 3-1. Класификација делова (слика 3-15)

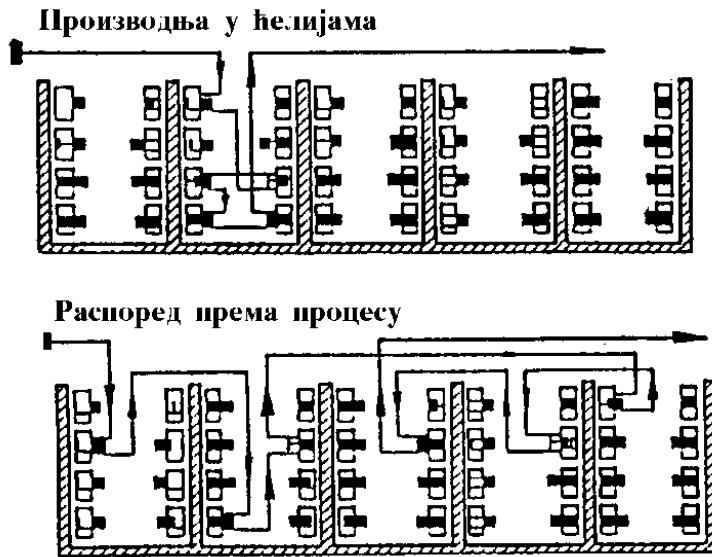
Назив класе	Број класе	Основне карактеристике делова
Елементи за спајање	1	Завртњи, навртке, подлошке, арматура за спајање итд.
Тела округлог облика	2	Вратила, осовине, вратила са зупчаником, спојнице, прирубнице итд.
Кућишта	3	Редуктора, лежајева итд.
Равна тела	4	Плоче, клизачи, клинови, зупчасте летве итд.
Фигуре разних облика	5	Коленаста вратила, куке, делови зупчаника, ексцентри итд.
Отпресци	6	Делови типа лопатица
Отпресци	7	Разни пресовани комади
Профили	8	Разне врсте профила
Металне конструкције	9	Греде, стреле, кућишта, решетке итд.



Слика 3-16. Процес у оквиру посебне фамилије делова

Захтевани процеси сваке фамилије компонента се изводе у оквиру ћелије (сл. 3-17), а радно оптерећење се балансира првенствено између појединих производних група, тако да се ћелије прилагођавају заједничком моделу тока. Посебно треба напоменути да свака група ради са извесним степеном аутономије.

Постоји могућност да се и делови више фамилија производе у једној ћелији, што делимично компликује проблем. Ово је присутно када је ћелија пројектована да производи више него што захтевају делови једне фамилије, тако да су машине недовољно искоришћење, па је неопходно увести кооперацију између ћелија.

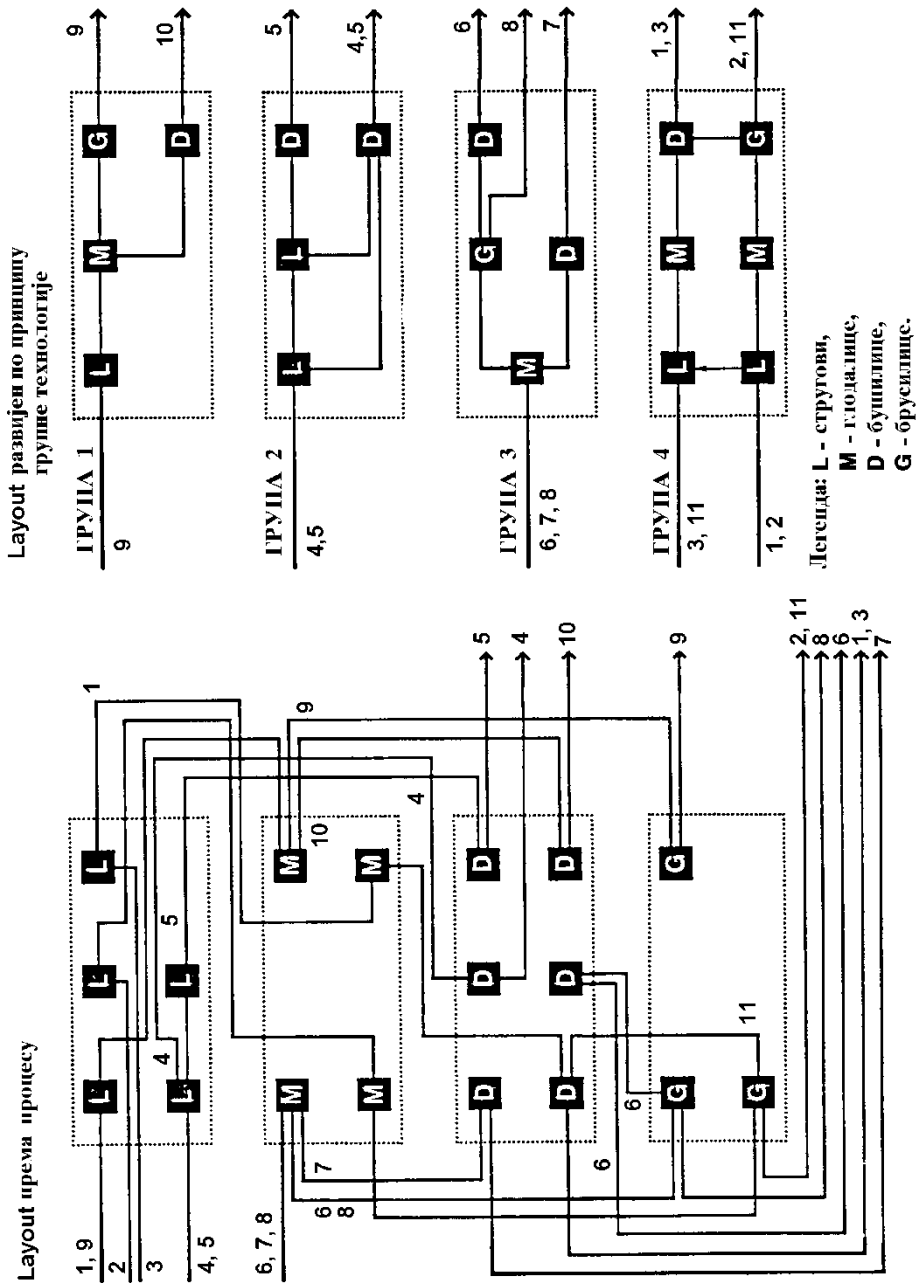


Слика 3-17. Производња у ћелијама

Основне карактеристике ћелијске производње:

- Краћи транспортни путеви и мања манипулација материјалом него код layout-а према процесу (слика 3-18) /El Rayah, Hollier 1970/.
- Смањује се време задржавања појединих делова у процесу до 80 % у односу на класичну радионичку производњу (мања количина недовршене производње).
- Смањена количина материјала у међускладиштима у односу на распоред према процесу обраде.
- Боља мотивисаност радника доводи до повећања продуктивности.
- Упрошћено планирање и управљање производњом.
- Смањује се време припреме тако да су мањи трошкови замене серије (краће припремно - завршно време).
- Краће време чекања делова на обраду у односу на производњу према процесу обраде.
- Смањена количина шкарта.
- Боље искоришћење радних површина доводи до смањених инвестиционих троškova за зграду (до 20 %).
- Повољније искоришћење опреме него у линијској производњи.
- Релативно висока продуктивност.
- Велика инвестициона улагања.

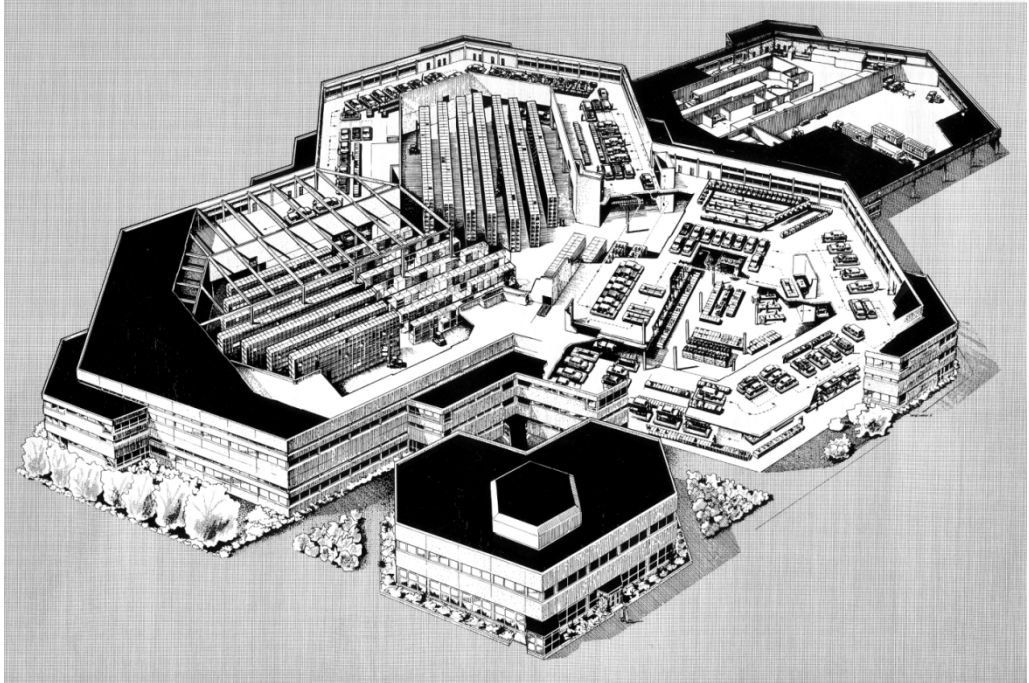
3. Layout



Слика 3-18. Layout према процесу и по принципу групне технологије

Групну монтажу је прва у потпуности применила фабрика Волво у Калмару 1973. године. При томе је целокупну монтажу возила изводило 20 различитих тимова, односно први пут у аутомобилској индустрији није примењена монтажна линија. Овакав начин производње је произашао из

потребе брзог прилагођавања жељама потрошача, пошто од средине седамдесетих година долази до наглог пораста броја варијанти по производу и до опадања броја јединица по варијанти. Овакав тренд се задржао и до данашњих дана. Овакав начин производње је посебно помогао развој нових технологија и флексибилних транспортних система (посебно развијање аутоматски управљаних колица - **AGV** ситем **DIGITRON**). На слици 3-19 је приказан пресек кроз фабрику, производња се обавља у кружном току док су складишта и остали помоћни садржаји смештени у централном делу зграде.



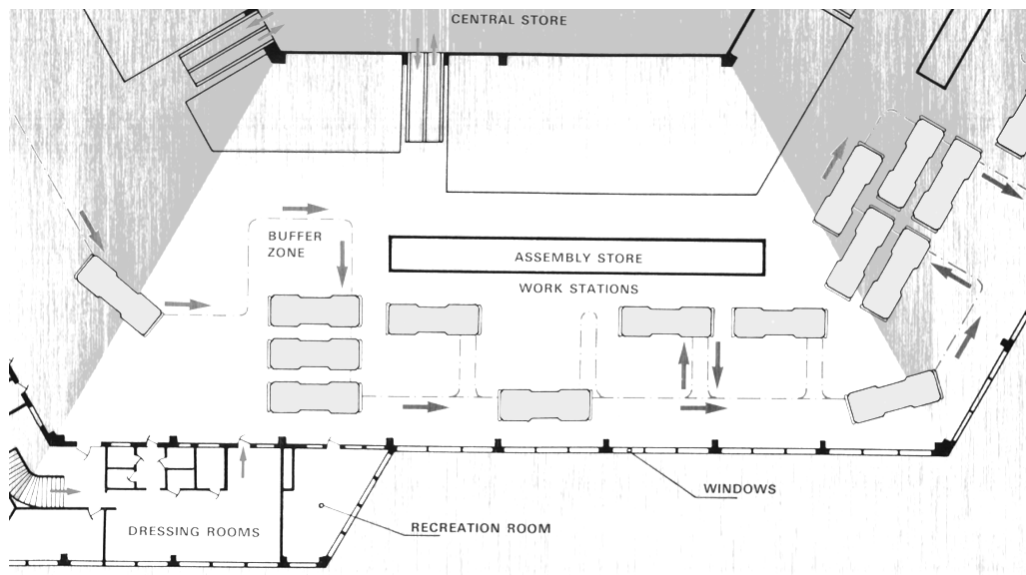
Слика 3-19. Пресек кроз фабрику у Калмару (Волво)

Време такта класичне монтажне линије је константно, што проузрокује разне негативне ефекте. Код групне монтаже време такта је променљиво, спецификација послова у оквиру такта је знатно шира и постоји могућност промене радног места у оквиру дате групе. Такт може да варира у широким границама (у фабрици Волво у Калмару време такта се креће у границама од 16 - 40 min. Поред променљивог времена такта, усвајање такта који траје дуже утиче на флексибилност извођења радних задатака. Наравно, поред наведених утицаја и сам транспортни систем знатно утиче на формирање layout-a.

На слици 3-20 приказан је layout дела монтаже. Шкољка аутомобила је постављена на **AGV** колица и на њима пролази кроз поједине операције монтаже. На улазу у свако одељење је постављено међускладиште (buffer zone). Радна места (work stations) су издвојена са главног тока, тако да су избегнути застоји уколико би дошло до застоја на појединим радним местима. Монтажна

3. Layout

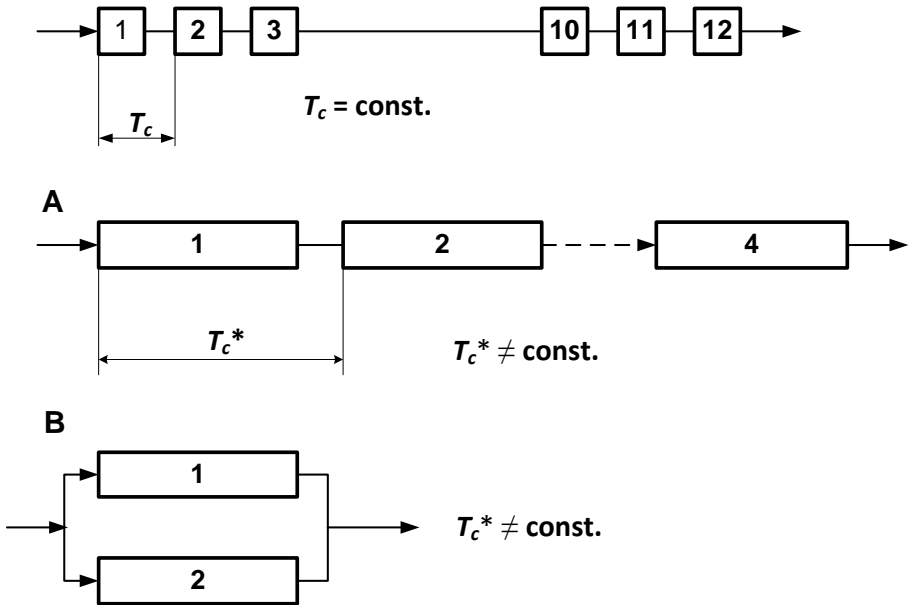
линија се снабдева из приручног складишта (assembly store). Попуњавање приручног складишта се обавља из централног складишта (central store). Интересантно је напоменути, да сваки радни тим, који изводи групу технолошки сличних операција, има посебну гардеробу (dressing room) у оквиру своје радне зоне. Такође у свакој радној зони је предвиђена соба за одмор (recreation room).



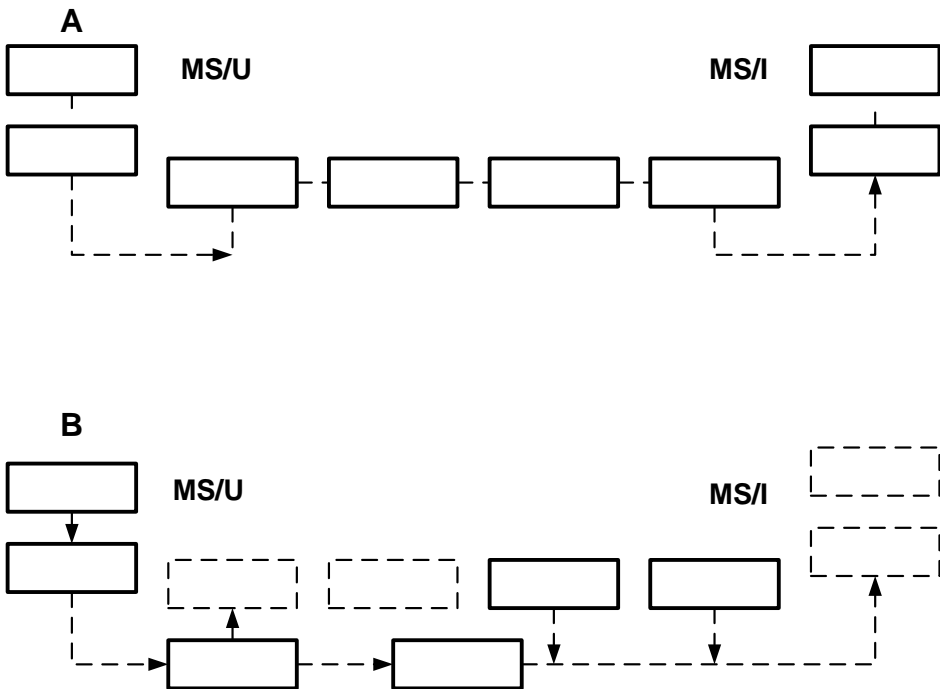
Слика 3-20. Layout дела монтаже у фабрици у Калмару (Волво)

Целокупну производњу преузимају аутономне радне групе специјализоване по појединим групама послова. Радници у оквиру групе могу међусобно да се мењају на извршавању појединих задатака. Транспорт између појединих радних група се изводи **AGV** колицима, а време такта је довољно велико да се обезбеди променљиви ритам рада у оквиру појединих група - високи степен флексибилности (слика 3-21 и 3-22). Сам транспортни уређај који носи шкољку аутомобила кроз цео процес, такође обезбеђује флексибилност у раду зато што може да аутоматски прати линију кретања (у поду је постављен индуктивни кабл и уређај има уграђен микропроцесор) или да се склони са линије (у међускладиште) када се њиме ручно управља.

На слици 3-21 је приказан изглед класичне монтажне линије са константним временом такта и флексибилних монтажних линија (А и Б) са променљивим временом такта. Слика 3-22 приказује два типа layout-а за флексибилну монтажу (А и Б).



Слика 3-21. Класична монтажна линија са константним временом такта и флексибилне монтажне линије (А и Б) са променљивим временом такта.



Слика 3- 22. Изглед два типа layout-а (А и Б) за флексибилну монтажу MS/U, MS/I - међуфазна складишта на улазу и излазу

3. Layout

Основне карактеристике групне (флексибилне) монтаже:

- Високи степен флексибилности.
- Лакши радни услови и боља мотивисаност радника у односу на линијску производњу.
- Дозвољена варијација такта производње у релативно широким границама ($T_c \neq \text{const.}$).
- Релативно ниски трошкови транспорта.
- Могуће варијације броја учесника једног тима (одсуство члана надокнађују други чланови тима).
- Нема укрштања транспортних путева.
- Међуфазна складишта су флексибилна.
- Могуће је доношење одлука у току рада.
- Олакшано управљање производњом.
- Транспортна средства праве мању буку од конвејера.
- Поремећаји у раду ретко утичу на заустављање целог система.
- Транспорт може да се одвија и за време прекида у раду (нпр. за време обода), итд.

3.8. Системи са фиксним позицијама производа

Код решења layout-а са фиксним позицијама производ је стационаран док му се ресурси (људи, опрема, алати и материјал) доносе. Овакав начин производње се примењује код производа веома великог габарита и масе: бродови, авиони, производи који се склапају на сопственом темељу (котлови, мостови, итд.). Производни програм обухвата веома мали асортиман производа који се израђују у малим серијама или најчешће појединачно. Процес монтаже се изводи почев од основе производа и базиран је на технолошком приоритету операција, тако да један од главних проблема пројектовања представља планирање операција.

Ове врсте layout-а примењују се када димензије, масе, трошкови и други фактори показују да је непожељно или непрактично покретати производ кроз систем.

3.9. Флексибилни производни системи (FPS)

Тенденција развоја савремене индустрије је конкурентност на тржишту, односно да поред минималних трошкова оствари и производњу са најкраћим могућим временом испоруке при стално променљивим захтевима, односно да предвиди тржишно орјентисане флексибилне производне системе. Ови системи треба да омогуће производњу малих серија, променљивих величина, према

посебним захтевима потрошача у дизајну, конструкцији и функцији, као и времену испоруке. При томе је основни циљ потпуна интеграција информација и токова материјала кроз сва одељења предузећа, односно треба да представља основу за развој **CIM** (Computer Integrated Manufacturing) концепта.

CIM је филозофија вођења производног система, која почива на подршци рачунара и треба да обједини технологију, опрему, организационе јединице и информационе ресурсе система. Реструктурирање предузећа овим концептом доноси веће предности него сама технолошка модернизација. **CIM** није само технологија, већ нешто више од инвестиције (значајна организациона компонента). Представља стратешки одговор на променљиве захтеве тржишта, дефинисан стратегијом повезивања постојећих технологија и особља у оптималан пословни систем који се заснива на способностима рачунара и информационе технологије. Основа функционисања **CIM** концепта обухвата: употребу рачунара, интеграцију база података и примену флексибилних производних система у производњи.

По дефиницији /Recent trends in flexible manufacturing, UN, 1986/: *Флексибилни производни систем је један интегрални рачунарски управљан комплекс алатних машина са аутоматском манипулацијом материјала и алата, и уређајима за аутоматско мерење и тестирање, који са минимумом мануелне интервенције и кратким временом промене алата (серије) може да израђује ма који производ из дате фамилије производа у оквиру својих могућности и према претходном плану.*

Ово је супротна ситуација од масовне производње где се роба испоручује купцима у константним количинама и константним интервалима према дугорочним плановима што није увек могуће реализовати.

Флексибилни производни системи могу да буду различити зависно од конфигурације машина, броја машина којима се управља и трошкова инвестиција. Сматра се да је значајно разликовати следеће категорије **FPS**-а:

- флексибилна производна јединица **FPU**: представља систем од једне машине (најчешће обрадни центар опремљен складиштем за више палета, са аутоматским измењивачем палета или роботом и једним аутоматским уређајем за измену алата),
- флексибилна производна ћелија **FPC**: садржи две или више машина са бар једним обрадним центром, складиштем за више палета и аутоматским измењивачем палета и алата за сваку машину; све машине, као и операције које се изводе у оквиру ћелије, су управљане **DNC** рачунаром.
- флексибилни производни систем **FPS**: састављен је од две или више **FPC** повезаних аутоматским транспортним системом (**AGV** колица,

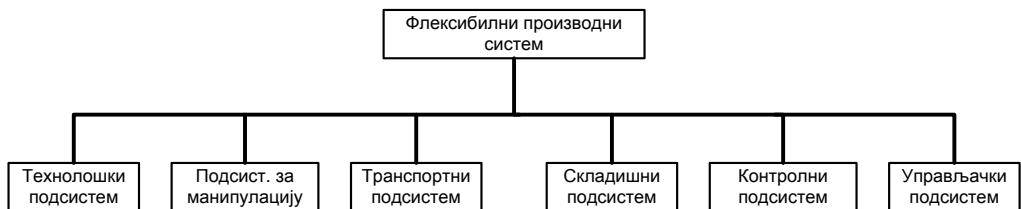
3. Layout

систем континуалних транспортера, рачунарски управљани кранови, манипулатори итд.) који преносе палете са радним комадима и алате између машина и комуницирају са складиштем делова и алата; Целим системом управља **DNC** рачунар који је најчешће повезан са фабричким рачунаром.

Присутне су и друге класификације **FPS**-а у литератури, па ће се навести једна од карактеристичних /The **FMS Magazine**, April 1984/:

- систем који производи једну серију у датом времену и може брзо да се подеси да производи нове серије,
- систем у коме различити делови могу да се израђују на случајан начин,
- систем који је пројектован за производњу ограниченог скупа делова; а није тако крут као трансфер линија,
- систем пројектован према наручиоцу,
- модуларни **FPS** представља флексибилну ћелију која се шири корак по корак користећи више или мање стандардну опрему различитих произвођача.

FPS се састоји од неколико подсистема: технолошког подсистема, подсистема за манипулацију материјалом, транспортног подсистема, складишног подсистема, подсистема контроле, подсистема управљања (подређеног централном рачунару или централном рачунарском систему), слика 3-23. Подсистем за манипулацију обавља руковање обратком и алатом само у оквиру обрадног, контролног или складишног подсистема, а кретање делова између појединих технолошких подсистема обавља се транспортним подсистемом.



Слика 3-23. Флексибилни производни систем

3.9.1. Транспортни подсистем флексибилног производног система

Своје највеће предности у односу на класичне производне концепте, **FPS** остварује захваљујући савременим средствима и организацији транспорта. Велика инвестициона улагања у систем захтевају да се у фази пројектовања

FPS-а изабере транспортни подсистем који треба на најбољи начин да одговори на специфичне транспортне захтеве пројектованог система.

Транспортни подсистем **FPS**-а може да се састоји од следећих уређаја: **AGV**-а (аутоматски управљаних мобилних колица), шинских аутоматских колица, флексибилних једношних транспортера, подних флексибилних транспортера, робота, као и посебних уређаја за манипулацију и транспорт и помоћних уређаја (измењивача палета, носача палета, окретних столова итд.). Основне функције транспортног подсистема су дате на сликама 3-24 и 3-25 /Косанић 1999/.

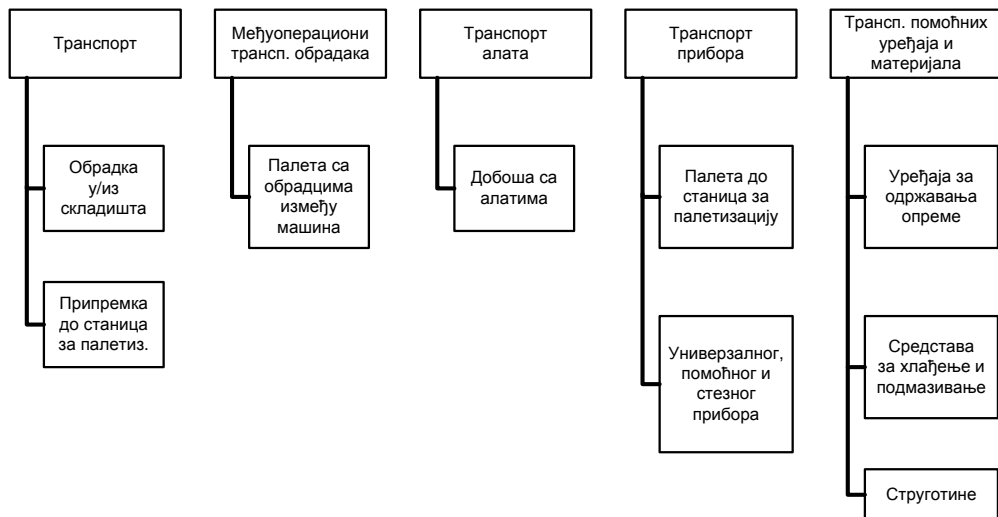
Систем аутоматски вођених колица (Automated Guided Vehicle System - AGVS) је савремени систем флексибилног подног транспорта. Састоји се од аутоматски управљаних (**AGV**) колица, која следе транспортну стазу (линију обележену на поду, укупани кабл у поду, маркере који се налазе дуж пута којим пролазе возила и сл.), утоварно/истоварних станица и контролно управљачког система, слика 3-26. Нова генерација ових возила су тзв. целуларни транспортни системи. Ово су аутономна транспортна возила (**Shuttle**), аутономни модули транспортне технологије. У поређењу са претходним шатл возилима, уграђен је нови навигациони систем. Као резултат тога има функционалност једног **AGV**, али може да се креће без водећих фиксних репера (в. Поглавље 14.1.4).

Постоји неколико основних типова (**AGV**) колица: тегљач, колица за превоз јединичног терета, палетна колица, колица за лаке терете, колица за монтажу, виљушкари (в. слику 13-72, Jungheinrich **AGV** виљушкар носи шатл у палетном складишту).

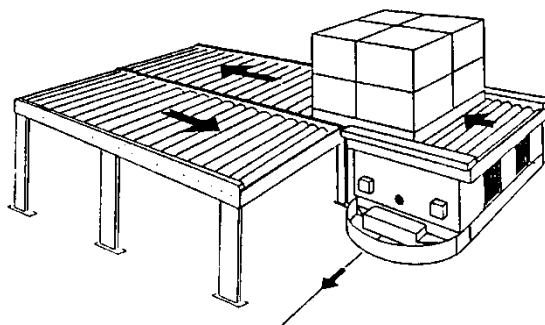


Слика 3-24. Транспортни подсистем **FPS**-а

3. Layout



Слика 3-25. Основне функције транспортног подсистема



Слика 3-26. Утоварно/истоварна станица са **AGV** колицима

Палетна колица (**AGV**) за превоз јединичног терета опремљена су механизмима за аутоматско дизање и премештање терета. Примењују се у флексибилним производним системима и у складишно-дистрибутивним системима где су дужине транспортних стаза релативно кратке, а количине материјала које треба транспортовати велике. Тегљачи вуку већи број различитих врста приколица. Најчешће се примењују у складишно-дистрибутивним центрима. Композиције колица примењују се код великих интензитета транспорта и за транспорт на великим растојањима, понекад између зграда на отвореном простору.

Виљушкар (**AGV**) представљају релативно нову концепцију и користе се у процесима где се захтева аутоматско захватање терета са нивоа пода или одговарајућег носача и тамо где висине са којих се утоварају или истоварају терети знатно варирају (обично за веће висине дизања). Ови уређаји су најскупљи од свих типова **AGV** уређаја и њихова примена је оправдана само у системима у којима се захтева потпуна аутоматизација.

Колица (**AGV**) за монтажу представљају адаптацију претходног типа и употребљавају се у процесима флексибилне монтаже. Колица преносе основне подсклопове, као нпр. моторе или преноснике, на које се постављају (склапају) остале компоненте (в. слику 3-20).

Основни технички подаци за поједине врсте транспортних уређаја који се користе у флексибилном транспорту дати су у табелици 3-2.

Таблица 3-2.

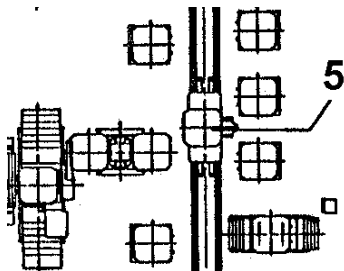
Врста транспортног система		Носивост (kg)	Брзина (m/min)	Препоручена дужина транспортовања (m)
AGVS	Колица за јединични терет	900 - 5.500	45- 80	80 и више
	Виљушкари	1.800 - 3.200	45 - 80	80 и више
	Палетна колица	1.800 - 2.700	45 - 80	80 и више
	Тегљачи	до 2.300	45 - 80	150 - 1.500
	Лака колица	до 50	15 - 45	80
Систем са једношним дизалицама		250, 500, 1.000, 1.250, 2.000	20, 32, 40, 63, 120	до 350
Шинска аутоматска колица		500, 1.000, 1.250 2.500 > 1.250	60 - 90	до 60

Шинска аутоматска колица примењују се у системима у којима треба транспортовати делове већих габарита и велике масе (слика 3-27). Возило се креће на две шине постављене на поду погона, а између њих поставља се трећа шина за вођење (напајање и управљање). Шинска аутоматска колица имају већу брзину кретања од **AGV** колица што утиче на смањење њиховог броја у **FPS**-у. Утовар и истовар палета обавља се преко утоварно/истоварних станица постављених дуж транспортне стазе. Платформа на возилу које носи транспортну јединицу као и утоварно/истоварне станице најчешће се изводе у облику ролганга.

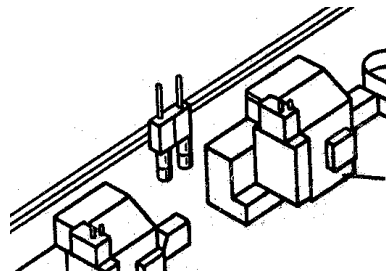
FPS са флексибилним једношним транспортерима (слика 3-28). Користе се у процесима где се захтева хватање терета са нивоа пода или одговарајућег носача и тамо где висине са којих се утоварају или истоварају терети знатно варирају (обично за веће висине дизања). Уређај за вешање терета може бити у облику куке или специјалног хватног уређаја за преношење палетизованих, контејнеризованих или специјалних терета.

Једношини транспортер садржи управљачку јединицу која је повезана са главним рачунаром система. Напајање електричном енергијом и преношење управљачких сигнала обавља се преко висеће шине по којој се креће. Све операције транспортног система су аутоматизоване. Флексибилност система огледа се у потпуној независности појединих погона, односно, задатака које обавља сваки од једношних транспортера.

3. Layout



Слика 3-27. Шинска аутоматска колица



Слика 3-28. Флексибилни једношине транспортер

3.9.2. Основне карактеристике флексибилне производње

Критеријум флексибилности **FPS**-а /The **FMS Magazine**, April 1984/:

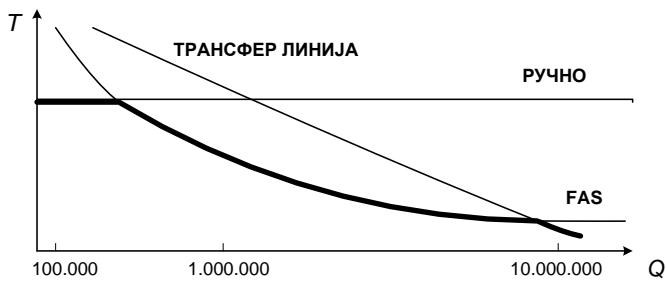
- производна флексибилност је лакоћа са којом систем може да се подеси да производи различите делове,
- флексибилност машина је лакоћа којом се машине могу да подесе (алати, прибори, позиционирање, програми итд.) да израђују делове из дате фамилије,
- флексибилност процеса је способност да се производи дати скуп делова од различитих материјала и на више начина,
- флексибилност производа је способност да се прихвати производња нових производа економично и брзо,
- флексибилност промене редоследа извођења поступака (динамичко додељивање делова машинама зависно од њиховог стања, нпр. застој или квар неке машине),
- флексибилност обима је способност да се прилагоди променљивим захтевима за дати део и да се оствари профит при различитим обимима производње,
- флексибилност проширења је способност проширења система лако и модуларно,
- флексибилност у раду је способност промене начина извођења неких операција за дати део.

Флексибилни производни системи се пројектују за извођење следећих процеса: обраду метала стругањем, деформацијом, монтажу и заваривање. Највећи број флексибилних производних система инсталираних у индустрији (90 %) користи се за обраду метала резањем, зато што производне карактеристике процеса, време израде по комаду, димензије и облик комада са гледишта манипулације комадом, подешавање машина, величина серије итд. су погодни за флексибилну производњу. Асортиман производа показује да су у производњи највише заступљени призматични делови, а затим округли и равни.

Обрада метала деформацијом је знатно мање заступљена у флексибилној производњи, иако то представља један од следећих циљева аутоматизације процеса. Основни разлози за ово су следећи:

- време израде по комаду најчешће је веома кратко,
- време замене алата у односу на време извођења процеса је дуго, тако да није погодно аутоматизовати мале серије,
- радни комади су често велики и имају геометријски облик непогодан за ускладиштење, транспорт и пуњење машине аутоматски, и
- системи су пројектовани за фамилије делова ограниченог облика и димензија.

Примена флексибилне производње у процесу монтаже (**FAS**) је значајна зато што трошкови извођења ових операција често износе 30 - 50 % од укупних директних трошкова рада. Област примене **FAS** за монтажу зависно од обима и трошкова производње је дата на дијаграму слике 3-29 /Recent trends in flexible manufacturing, UN, 1996/.



Слика 3-29. Област примене **FAS**

Основни захтеви који се намећу при пројектовању **FAS** су следећи:

- производ увек почиње да се склапа са основном компонентом на коју се постављају остале компоненте,
- компоненте треба тако пројектовати да се постављају са једне стране (препоручљиво одозго), и
- претходно је потребно формирати подсклопове.

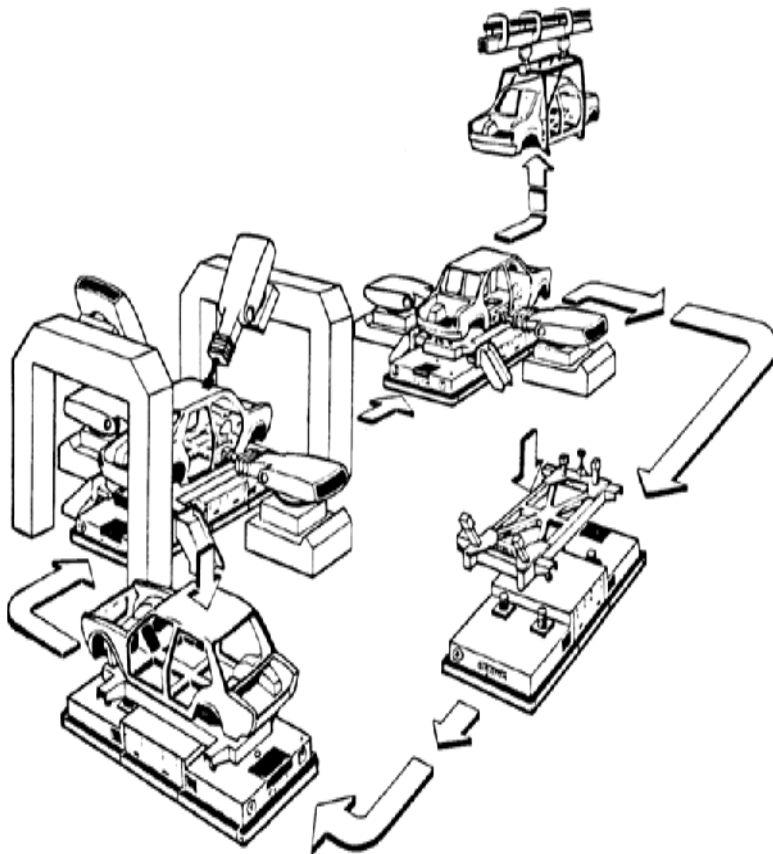
Упоређење **FPS** и **FAS** (флексибилна производња у монтажи):

- Основна опрема **FPS** су машине, а код **FAS** роботи; код **FPS** роботи служе за манипулацију материјалом и алатима и захтевају мање софистициране роботе од **FAS** (за извођење монтажних операција) и то у погледу тачности, брзине, управљања и сензорске интеракције. Код **FAS** роботи мењају аутоматски алате и стезаче за подешавање код промене редоследа монтаже.

3. Layout

- Код **FPS** и **FAS** радни комад и алати се транспортују аутоматски, међутим код **FAS** је време циклуса обично краће него код **FPS**, а број компонената којима се рукује у јединици времена је неколико пута већи него код **FPS**; захтев флексибилности система за напајањем материјалом код **FAS** је веома висок пошто делови који се монтирају нису увек постављени на палету тако да су неопходни усавршени сензори за одређивање локације и орјентацију делова.

У процесу заваривања флексибилни системи су углавном изграђени око индустријских робота. Посебно се напомиње да су најзначајнија достигнућа постигнута код тачкастог заваривања у аутомобилској индустрији (слика 3-30). Савремена постројења за тачкасто заваривање могу да изведу до 90 % од захтеваних операција. Као пример доброг решења се наводе фабрике General Motors у Drion Township-у и Wentwill-у које имају 160 робота за заваривање, бојење и контролу. Роботи изводе 93 % од 4.900 операција које захтева шкољка аутомобила. Примена флексибилних система у електролучном заваривању је много комплекснија и захтева савршеније роботе.



Слика 3-30. Тачкасто заваривање у аутомобилској индустрији

Изведени системи показују да се флексибилна производња најчешће примењује у великим компанијама (многи системи развијени су у сопственој кући). За ово постоји низ разлога:

- потребне су велике инвестиције за развој система,
- расположивост техничких експерата за развој и интеграцију система,
- да би систем остваривао профит мора да ради континуално бар две смене, при томе мање компаније тешко могу да дефинишу довољно велику фамилију производа (број делова и количину по делу) који ће у дужем периоду времена да обезбеде довољно висок степен искоришћења
- несавршеност у снабдевању, недостатак стандарда за **FPS** компоненте и комплетних система присиљавају корисника да их прави по мери.

Основне карактеристике радне снаге у **FPS**:

- захтева се радна снага мултидисциплинарно обучена,
- долази до трансформације структуре запослених (порастан индиректног производног рада, а смањење директног производног рада - прелазак са мануелног на ментални рад),
- радници су ослобођени извођења тешких физичких операција,
- пораст продуктивности запослених,
- смањење броја запослених,
- све већи број запослених жена,
- радник може да утиче на планирање рада; информациони систем је тако пројектован да даје повратну спрегу радницима, разматрајући радна места и стање свих процеса у систему,
- радник комуницира са пословођом,
- радник је одговоран за свој рад (стална провера квалитета),
- већа сигурност у раду (радник има мање директних контаката са машинама, тешким материјалом, опасним хемикалијама итд.); укинути су тешки процеси које изводи радник,
- постоји могућност повреде пошто рачунар управља процесом који не региструје улазак радника у радни простор или зону робота; јавља се нови тип ризика који захтева развијање нових сигурносних елемената,
- иако **FPS** води ка побољшању физичких услова радника, може се често уочити да систем може негативно да утиче на психолошке услове рада; рад постаје монотон и доводи до пораста менталних стресова,
- радник контролише процес и у 99 % радног времена се ништа не дешава; у осталих 1 % када се дешавају проблеми захтева се тренутно решење, тада настаје озбиљно преоптерећење у послу за које радници нису припремљени; дуги период неактивности и кратки периоди

3. Layout

великог притиска обично стварају менталне стресове; потребно је припремити радника у процесу обуке на ово.

Успех **FPS** зависи од пажње са којом се планира и припрема његово увођење. За одлуку о развоју посебно је значајан, будући степен искоришћења система. Застоји у реализацији или каснији застоји у раду (уколико систем не ради ефикасно као што је предвиђено) могу да доведу до озбиљних поремећаја и то не само у том подсистему већ у целом производном систему. Одлука о инвестирању је стратешка одлука за целу компанију, значи потребно је извршити анализу и оптимизацију целог система и посебно видети како утиче на остала одељења и погоне. У обрнутом случају ово је подоптимизација и може да доведе само до премештања проблема из једне области у другу. Посебно се напомиње, да је увек присутан технички и економски ризик.

За успешно увођење у рад ових система неопходно је обезбедити учешће свих група још у фази планирања. Ово је неопходно не само у процесу увођења већ и за прилагођавање целокупне оптимизације производње предузећа.

Посебан ризик је тржиште и степен искоришћења **FPS** зато што застоји могу да проузрокују озбиљне финансијске проблеме. Потребно је да систем стално ради у две смене да би се инвестиција исплатила. Систем захтева и дуг период уходавања (2 до 3 године), када може да настане низ техничких, производних, организационих и управљачких проблема.

Посебно је значајно идентификовати фамилије делова и процесе. Ова анализа се ради за постојећи и нови систем производње поштујући низ променљивих, укључујући машине и опрему који ће бити употребљени, времена циклуса, времена наручивања, редослед наручивања делова, редослед извођења процеса, алате и приборе, број подешавања машина - постављања делова и алата и одговарајуће захтевано време, као и број алата и прибора који се мењају.

Посебна пажња мора да се посвети пројектовању производа (ово је посебно важно у монтажи). Често се захтева поновно пројектовање производа у циљу лакшег извођења аутоматске манипулације, машинске обраде и монтаже, што доводи до редукација у броју делова и процеса захтеваних за дати производ.

Значајно је испитати могућност интеграције **FPS** у целокупни систем производње. Потребно је идентификовати све неопходне промене у производној организацији и то посебно са гледишта синхронизације рада погона. Ове промене мора да обухвате конфигурацију машина, ток материјала, расподелу рада и токове информација итд. Потребно је успоставити ближу кооперацију са испоручиоцима репроматеријала и компонената, као и са

купцима. Захтева се од испоручиоца да следи ново време испоруке као код "just in time" производње.

Посебна пажња мора да се посвети стандардизацији производа, који ће да се израђују, и њихових компонената, као и целом производном систему (манипулација материјалом, алати, прибори, машине и њихови управљачки системи, системи комуникације и целокупно планирање и управљање системом):

- мањи број алата у оптицају смањује трошкове за складиштење и манипулацију (алати представљају један од главних извора трошкова),
- мањи број измена алата резултује у бржем извођењу операција,
- мањи број различитих завртњева утиче на ефикасније извођење монтажних операција.

Инсталисање **FPS** у фабрици захтева низ додатних радова):

- реконструкцију зграде (подови, канали, кабл за **AGV** или шине, итд.),
- реконструкцију машина, транспортног система и токова информација у другим одељењима, итд.

3.9.3. Layout флексибилне производње

Литература која се бави проблемом пројектовања флексибилних производних система релативно мало пажње посвећује процесу формирања layout-а и примени одговарајућих модела за размештај опреме. Посебно треба напоменути да су објављени подаци о изведеним објектима углавном уопштени и да ретко садрже значајне техничко економске показатеље.

Пројектовање layout-а флексибилне производње садржи извесне специфичности везане за распоред локација (производних ћелија, опреме и радних места). Основне поставке формирања layout-а су дате у овом поглављу тако да ће се навести само неки посебни утицаји о којима пројектант мора да води рачуна при размештању опреме и решавању система кретања материјала.

У литератури су присутне различите дефиниције флексибилне производње почев од групе интегрисане производне опреме, па до интегралних система производње. Са гледишта пројектовања layout-а највише би одговарала дефиниција: *"систем процеса интегрисан аутоматским системом транспорта чији је основни циљ производња са континуалним током при малим величинама серија и високим степеном флексибилности који треба да задовољи сталне промене тржишних захтева"*. При томе захтевана флексибилност треба да омогући:

3. Layout

- широки асортиман производа,
- промене асортимана у датим границама,
- промене у дизајну и конструкцији производа,
- промене у обиму производње (величине серија) за дати део,
- динамично додељивање делова машинама зависно од њиховог статуса,
- динамично додељивање радне снаге уским грлима, итд.

То значи, да је улога пројектанта система да интегрише:

- производну опрему,
- транспортна средства,
- складишну опрему, и
- опрему за рачунарско управљање.

Посебно треба нагласити да и сам layout обухвата простор за побољшање у методама, квалитету и коришћењу ресурса. Основни принцип формирања layout-а је да размештај опреме следи токове материјала и да при томе усвојени систем транспорта дефинише главне транспортне путеве.

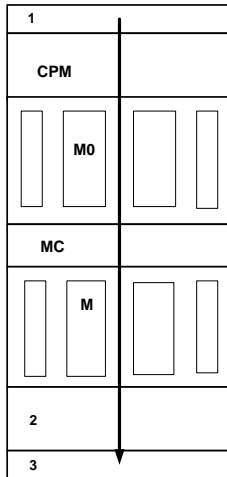
У флексибилним производним системима знатно се редуцира коришћење виљушкара у погонима тако да долази до измене класичног layout-а са дугачким и широким ходницима, односно главним саобраћајницама које повезују све фазе производње (нпр. решење на слици 3-31). Производња по природи постаје хелијска тако да је диспозиција погона развијена у облику слова "U" или "O" (слика 3-32 приказује layout "O" облика).

Поред тенденције за смањењем залиха у флексибилној производњи, што доводи и до редукције складишног простора, аутоматизација производње захтева и одговарајући систем складиштења који је интегрисан у производни процес. Основна идеја за примену овог метода је могућност директног транспорта материјала од складишних локација до радних места и обратно, односно складиште постаје интегрални део производног погона.

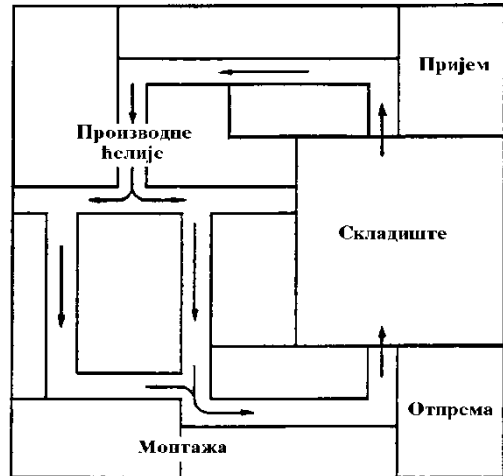
Основни облици оваквог модела су следећи: складишни простор је постављен бочно у односу на производни погон (слика 3-33), или је постављен између два производна погона. Треба напоменути, да складиште може да буде директно везано са производњом или преко система за комисионирање (нпр. код монтаже).

Посебна предност интегрисања складишта у производни систем је могућност постављања производних погона у више нивоа. У тим случајевима складиште служи за чување репроматеријала, готове робе, готових производа и као међуфазно складиште. То значи, да поред своје основне намене преузима и функцију транспортног система (в. слику 3-7, поглавље 3-5). На слици 3-34

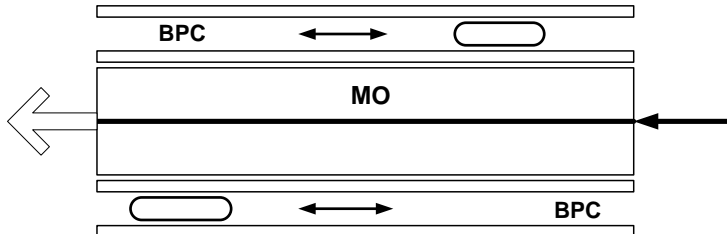
дато је решење погона фабрике Murata Machinery. **FPS** се састоји од девет обрадних центара и високорегалног складишта повезаних **AGV** колицима. Складиште има 288 палетних места и служи за чување репро материјала, радних предмета после појединих операција (међускладишта) и готових производа.



Слика 3-31. Класичан layout



Слика 3-32. Layout "O" облика

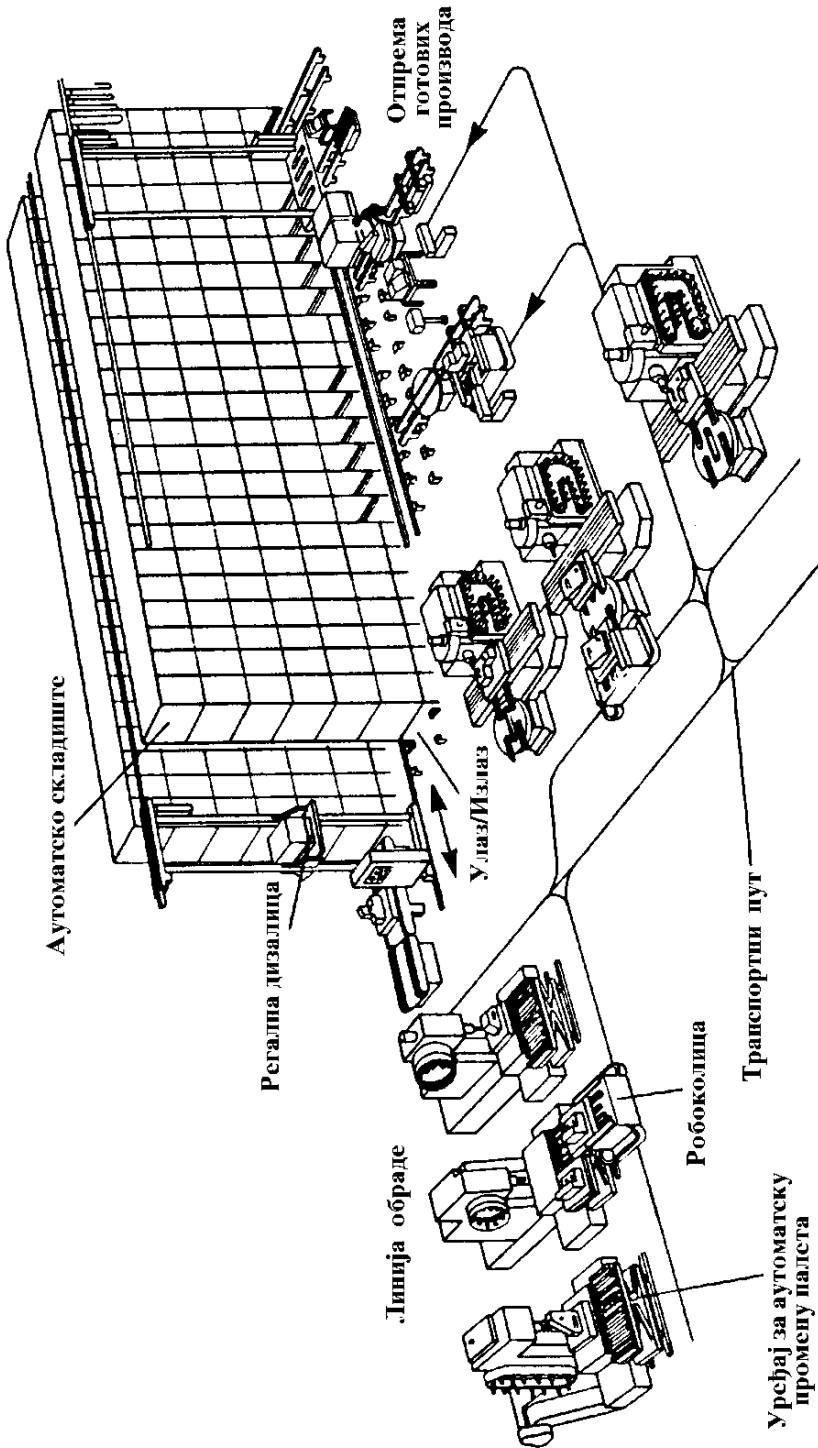


Слика 3-33. Високорегално складиште (BPC) интегрисано у производњу (MO)

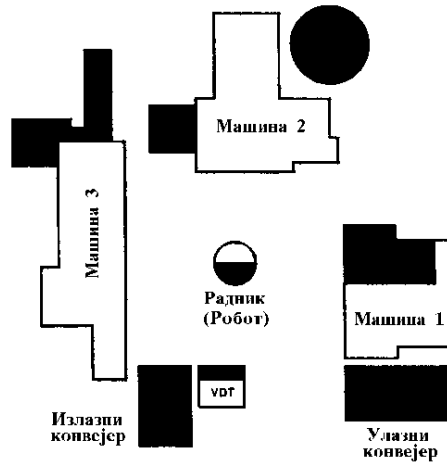
3.9.4. Радна места

Радна места такође теже "U" или "O" облику тако да радник може да опслужује више машина и могу да се аутоматизују манипулативне операције које се често понављају, тешке или опасне по раднике. Физичка близина радних места смањује манипулацију и омогућује евентуалну помоћ између појединих радника. На слици 3-35 је приказан изглед радног места са три машине ("U" облик). Материјал се допрема и отпрема конвејером. Манипулацију у оквиру радног места обавља радник. Предвиђа се могућност уграђивања робота. Постављање радних места на монтажи је обично прилагођено систему транспорта (нпр. **AGV**). Флексибилност се постиже најчешће променљивим временом такта).

3. Layout

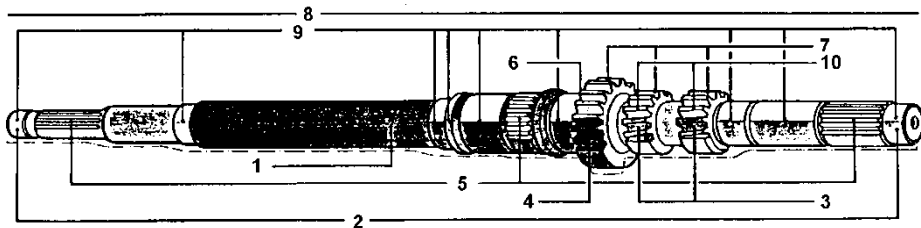


Слика 3-34. Погон фабрике Murata Machinery



Слика 3-35. Радно место са три машине

У даљем тексту ће се дати примери извођења комбинованих система у савременој производњи. На слици 3-36 је приказано вратило редуктора, представник фамилије делова који се обрађују у флексибилном производном систему фирме EMAG (Немачка). Основне операције, број машина, време такта и степен искоришћења појединих машина су приказани табеларно (таблица 3-3). На слици 3-37 је дат изглед овог постројења. Материјал се довози палетизован виљушкарком, а транспорт унутар система изводе линијски манипулатори.

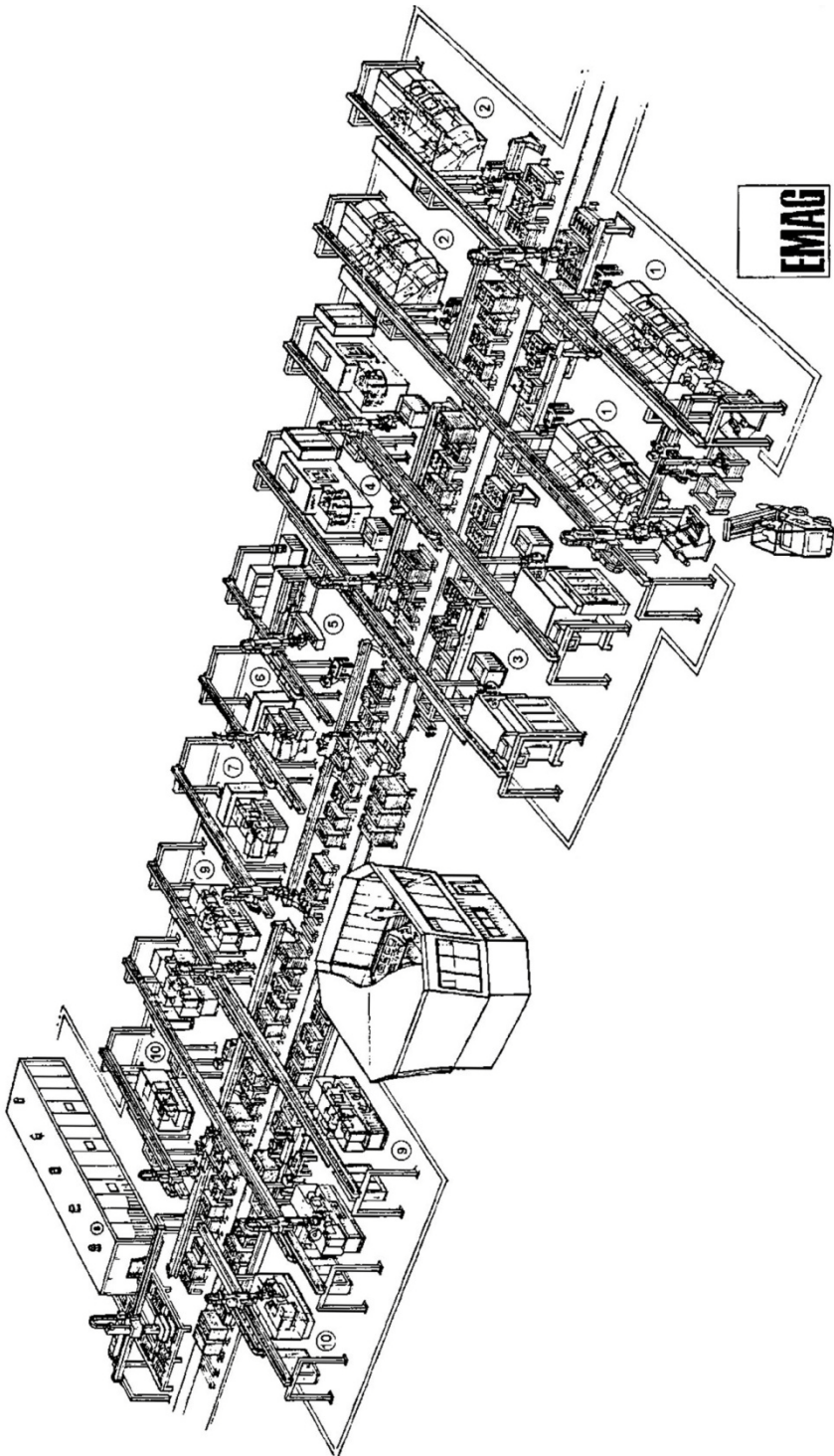


Слика 3-36. Представник фамилије делова, вратило редуктора

Таблица 3-3.

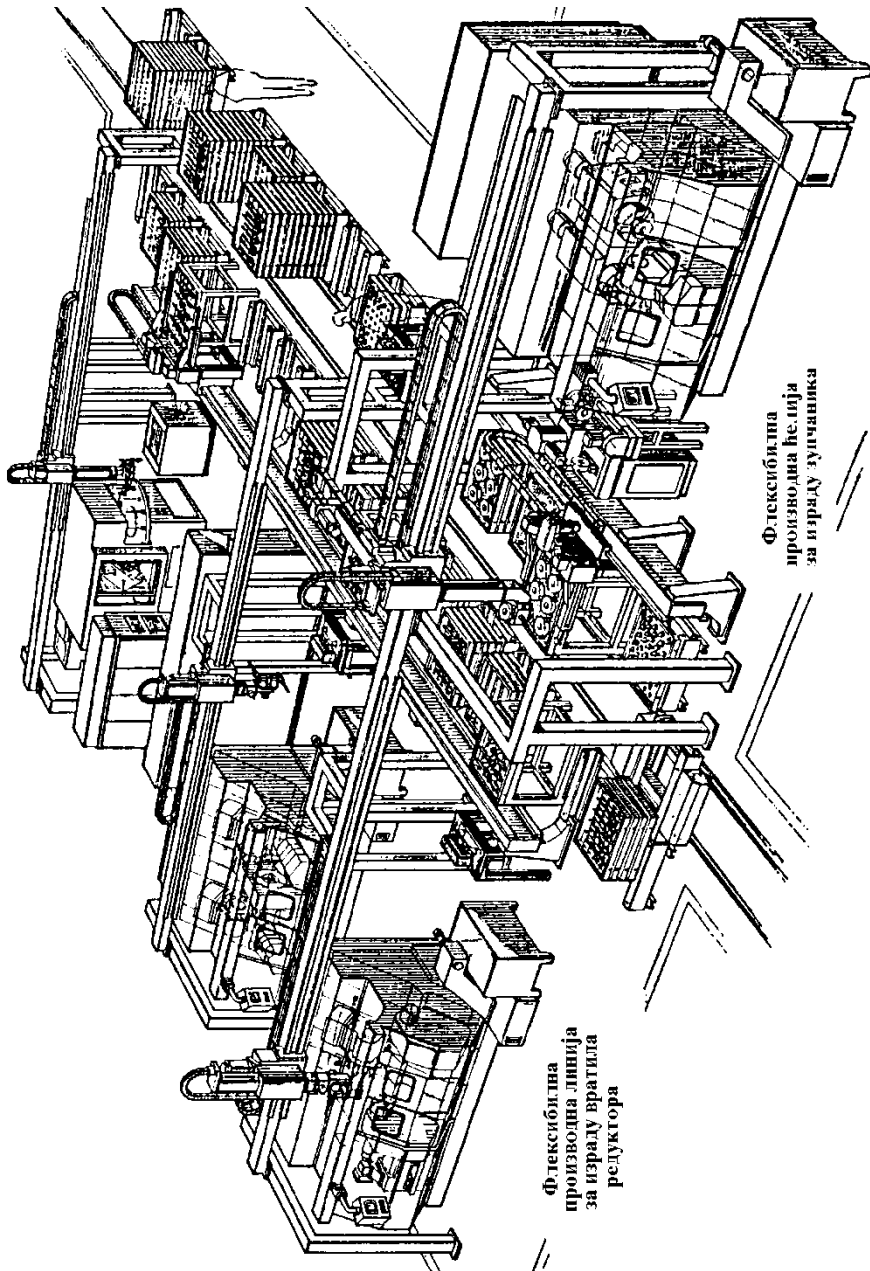
ОПЕРАЦИЈА	МАШИНА	Бр. машина	Такт у мин.	Степен искоришћења
Грубо стругање	Аутоматски струг USC-11	2	1,30	85 %
Сечење, центрирање и стругање	Аутоматски струг USC-17	2	1,30	85 %
Глодање	CNC-глодалица	2	1,10	72 %
Израда зуба	Машина за израду зуба	2	1,20	76 %
Ваљање	Машина за ваљање	1	0,70	91 %
Закошавање зуба		1	0,42	54 %
Обарање ивица		1	0,42	54 %
Термичка обрада				
Брушење		4	1,40	91 %
Дотеривање		2	0,80	52 %

3. Layout



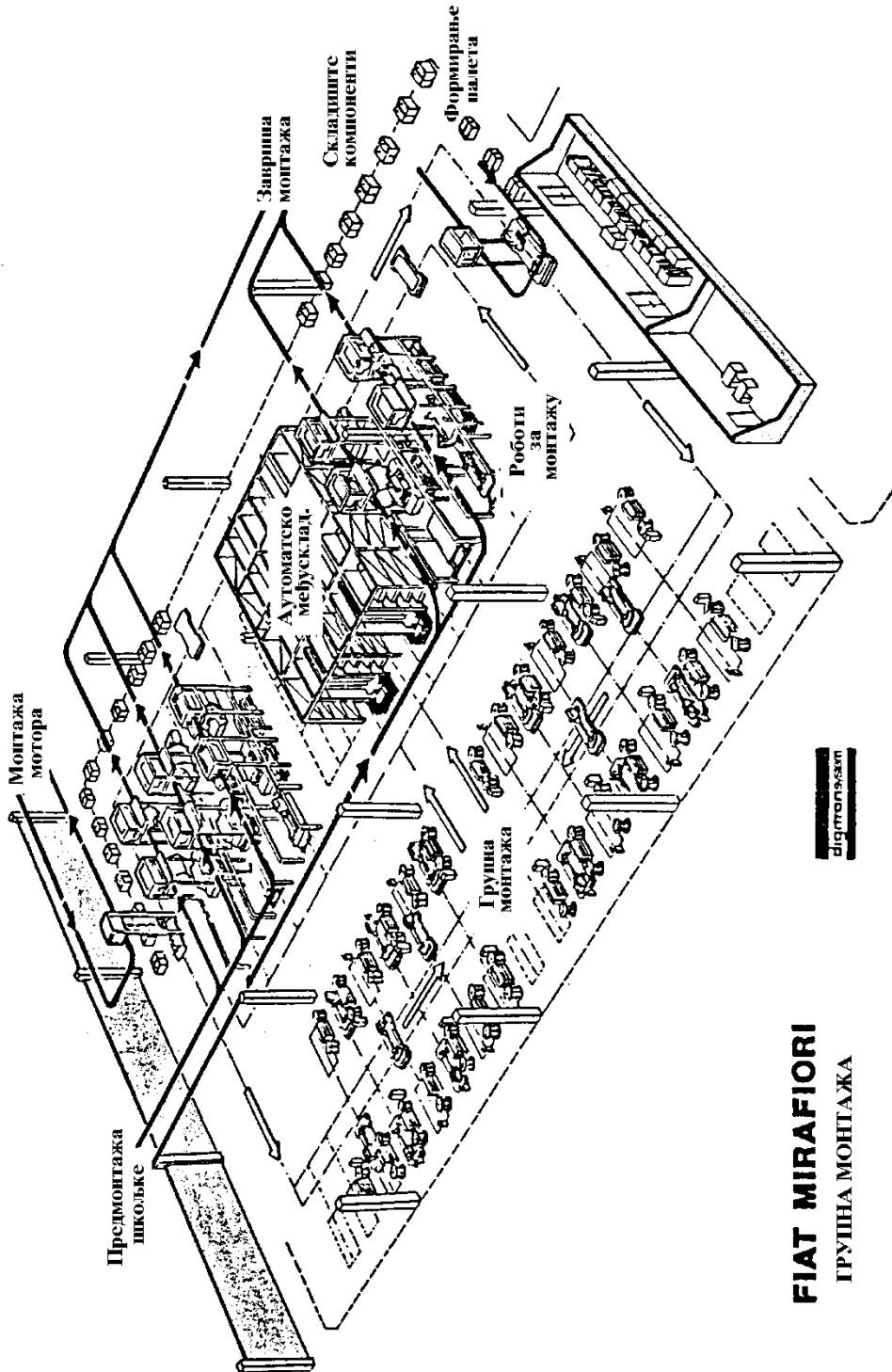
Слика 3-37. Флексибилни производни систем EMAG

На слици 3-38 је дат изглед једне флексибилне производне линије за израду вратила и флексибилне производне ћелије за израду зупчаника. На слици 3-39 дато је решење групе монтаже у аутомобилској индустрији FIAT Mirafiori. На сликама 3-40 до 3-43 дате су флексибилне производне линије "MAHO", Немачка, "VOLVO", Шведска и "MANDELLI", Italija.



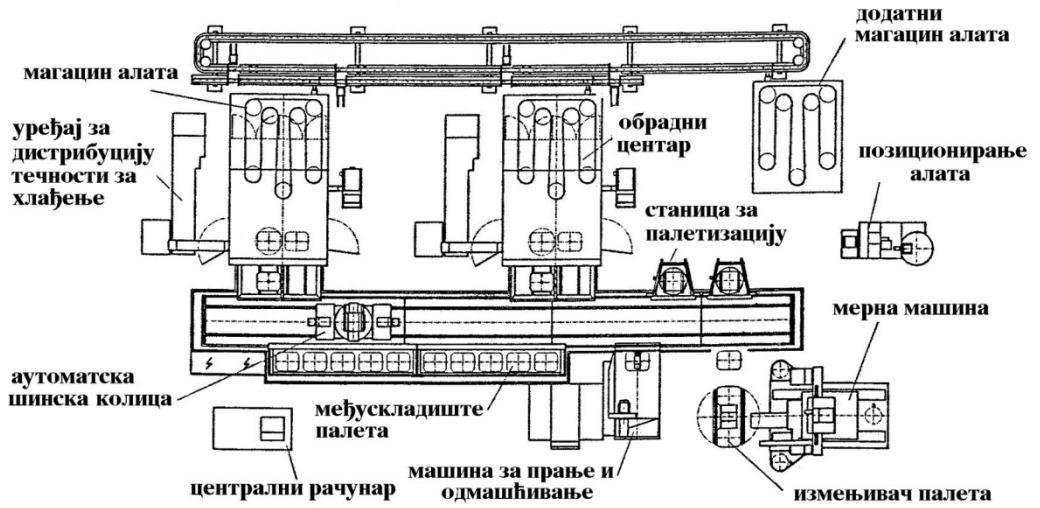
Слика 3-38. Флексибилна производња вратила и зупчаника.

3. Layout

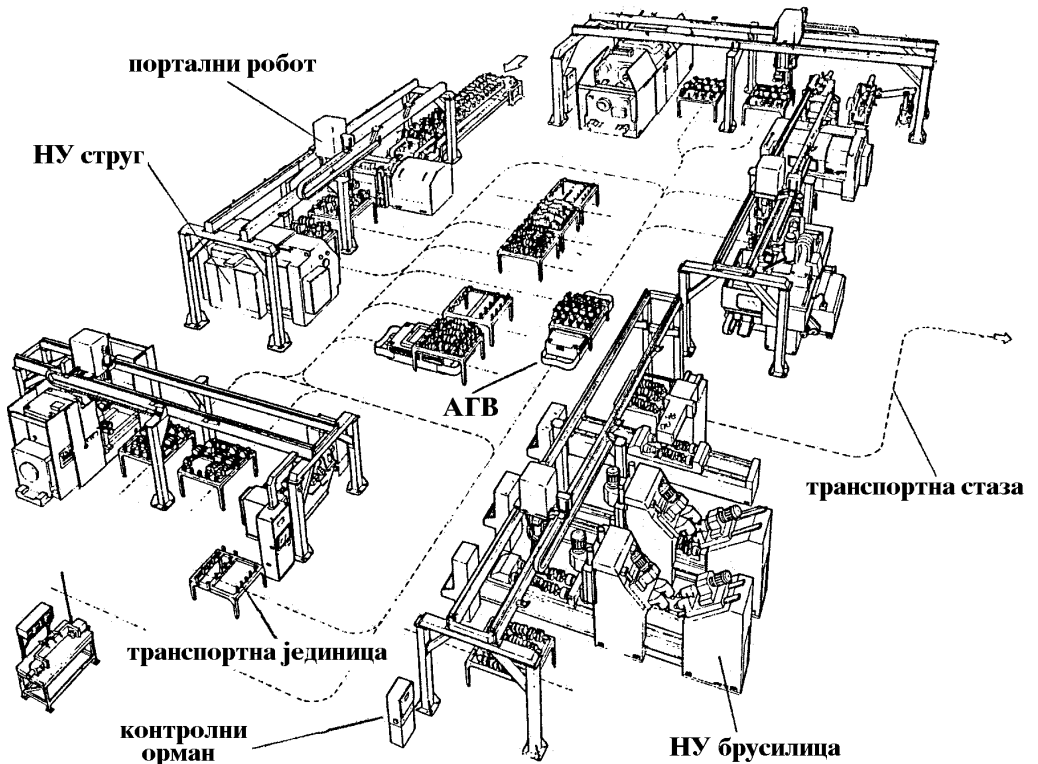


Слика 3-39. Група монтажа аутомобила у индустрији FIAT Mirafiori

3. Layout

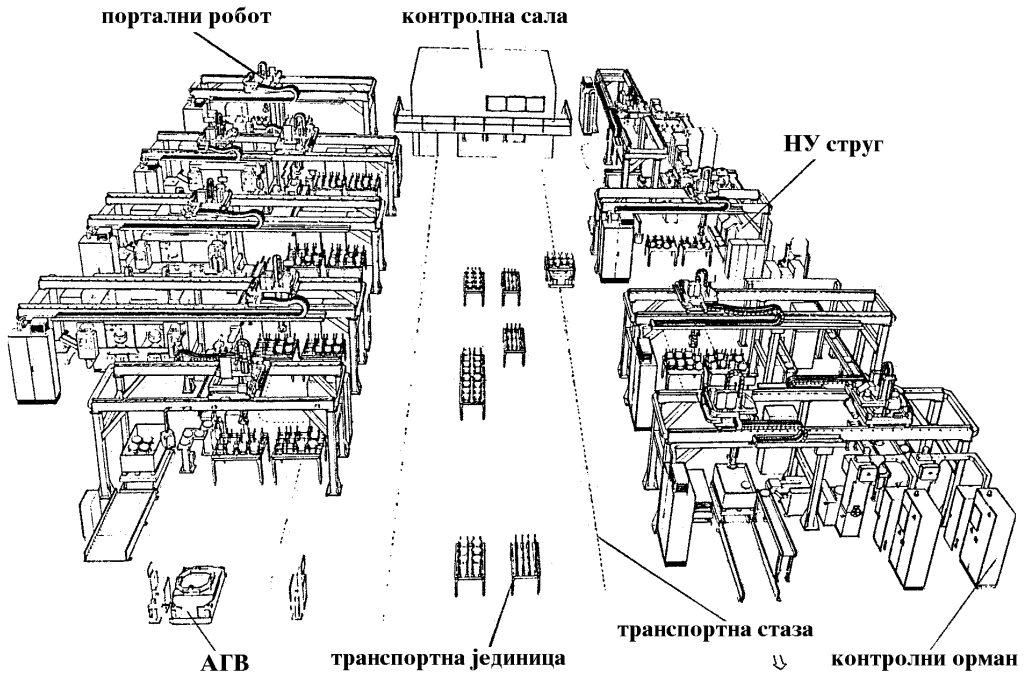


Слика 3-40. FPS "MANO", Немачка, транспорт - аутоматска шинска колица /FMS Magazine/

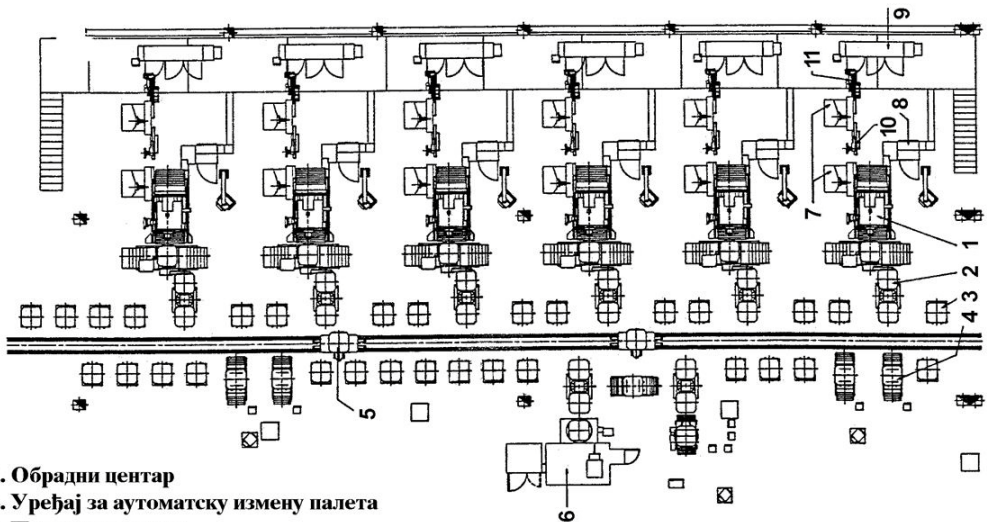


Слика 3-41. FPS "VOLVO", производња радилица за моторе, транспорт АГВS и портални манипулатори /FMS Magazine/

3. Layout



Слика 3-42. FPS "VOLVO", производња делова за моторе, транспорт AGVS и портални манипулатори /FMS Magazine/



- | | |
|---------------------------------------|--|
| 1. Обрадни центар | 8. Станица за контролу рада хидрауличних уређаја |
| 2. Уређај за аутоматску измену палета | 9. Контролна станица |
| 3. Палетно постолје | 10. Робот за измену алата |
| 4. Утоварно/истоварне станице | 11. Место за улагање алата |
| 5. Аутоматска шинска колица | |
| 6. Мерна машина | |
| 7. Складиште алата (60 позиција) | |

Слика 3-43. FPS "MANDELLI", Италија, транспорт-аутоматска шинска колица /FMS Magazine/

6. УНУТРАШЊИ ТРАНСПОРТ

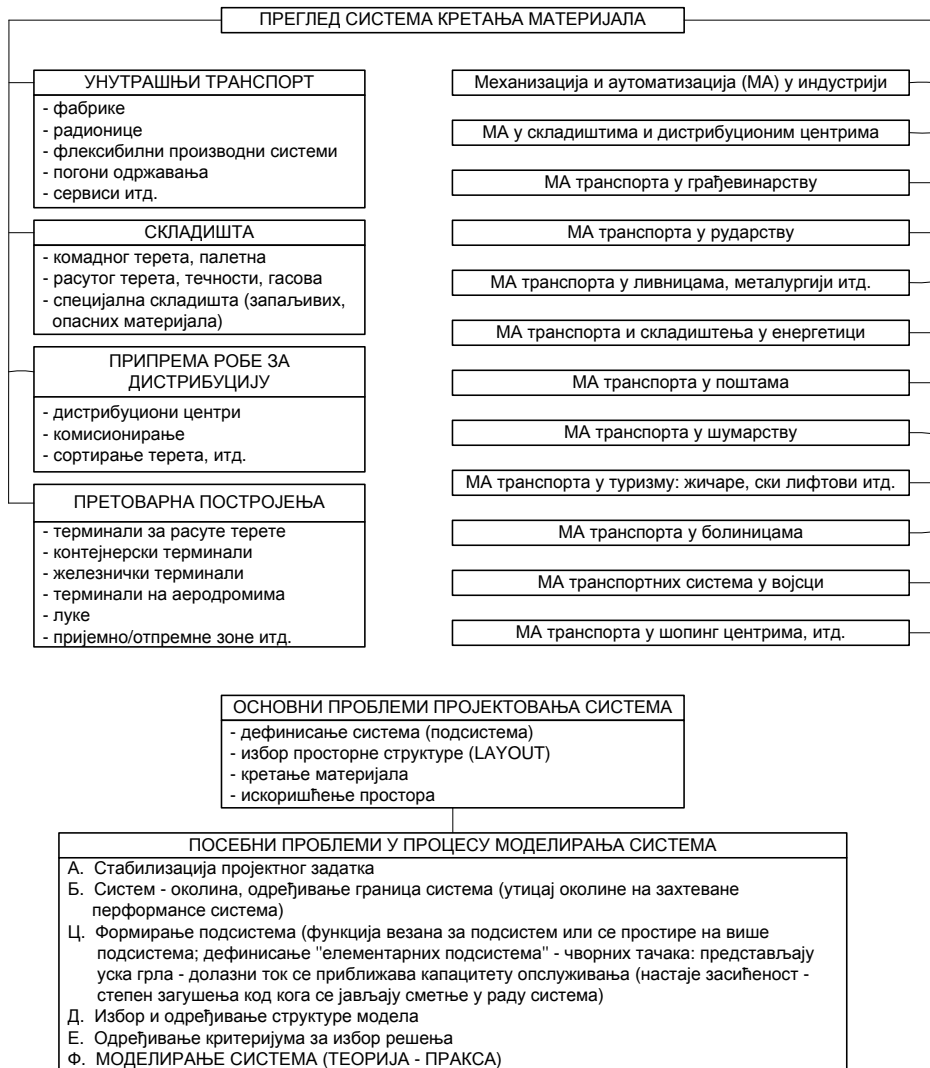
6.1. Увод

Транспорт материјала представља карактеристику свих физичких активности познатих човеку. Он формира везу између појединих активности и не повећава вредност производа у технолошком ланцу. При томе, може знатно да утиче на повећање трошкова производа или робе у процесу. Представља интегрални део мреже **догађаја, процеса и кретања**, од иницијалног снабдевања кроз све фазе до финалног потрошача. Уравнотежење овакве мреже у циљу добијања најбољих перформанси је високо софистицирана процедура. Преглед основних активности система кретања материјала и неких проблема њиховог пројектовања и моделирања дати су на слици 6-1.

У производним процесима ма које врсте могуће је идентификовати три основне функције које дефинишу укупне активности система: **извођење технолошких операција, унутрашњи транспорт и управљање**. Унутрашњи транспорт обухвата две функције: **кретање материјала** између појединих локација (места извођења технолошких операција и/или радних места) и **складиштење материјала** (имобилизација тока), алата и др. Основне функције које дефинишу укупне активности индустријског система су дате на слици 6-2.

Кретање материјала треба да повеже низ најчешће дискретних процеса (често стохастичког карактера) и омогући функционисање овако комплексних система. Реализација кретања се остварује транспортним системом. У литератури се наводе неке од активности и функција које треба да омогуће нормалан рад система: утовар, истовар, транспорт између појединих локација система, међупогонски транспорт, транспорт за обављање помоћних активности, руковање материјалом у оквиру радног места, складиштење, пријем материјала. отпрема материјала, паковање, итд.

6. Унутрашњи транспорт



Слика 6-1. Преглед основних активности система кретања материјала

Основни циљеви у пројектовању индустријских система (Plant layout) уско су повезани са циљевима које треба остварити у пројектовању унутрашњег транспорта. Најчешће се наводе њихове основне зависности:

- Остваривање ефикасног производног процеса
 - ефикасно кретање материјала,
 - минимум "уских грла" у производним процесима,
 - брза испорука робе потрошачима (мала количина залиха), итд.
- Минимизирање транспорта и руковања материјалом
 - формирање јединичних терета одговарајућих димензија (маса и запремина),

- ефикасно управљање токовима материјала,
- мала могућност оштећења материјала,
- механизација или аутоматизација транспорта.
- Флексибилност свих активности и операција
 - флексибилност транспортних средстава и опреме.
 - координација транспортног и производног подсистема,
 - пројектовани транспортни подсистем треба да буде тако пројектован да дозвољава лаку доградњу, тј. повећање капацитета.
- Високи обрт материјала у процесу (мали степен недовршене производње):
 - кратак циклус производње,
 - стабилан обим производње.
- Минимизација инвестиционих трошкова опреме
 - минимизација изгубљеног времена по машини (висок степен искоришћења),
 - минимизација обима транспорта и манипулације материјалом између операција.
- Економично искоришћење расположивих површина
 - високо искоришћење простора (површине и запремине),
 - велика продуктивност запослених по јединици површине,
 - коришћење мобилне транспортне опреме.
- Ефикасно искоришћење радне снаге
 - минимизација ручног транспорта,
 - коришћење транспортних судова.
- Обезбеђивање запосленима погодности за рад, комфора и сигурности,
 - безбедни радни услови,
 - мало замарање радника,
 - висок ниво личног комфора на радном месту.

Добар **распоред опреме** (layout) као што је наведено, у блиској је вези са ефикасним решењем унутрашњег транспорта. Интеграција кретања материјала у процесу производње, захтева разматрање целокупне процедуре планирања layout-а. При томе су у анализирању проблема унутрашњег транспорта најчешће присутни следећи фактори: карактеристике материјала (производа), количина, места допреме и отпреме, транспортни путеви, фреквенција транспортних захтева, брзина кретања транспортних средстава, карактеристике јединичног терета, транспортна опрема, радна снага и безбедносни захтеви.

6. Унутрашњи транспорт



Слика 6-2. Основне функције које дефинишу укупне активности система

У моделирању кретања материјала, предлаже се да, анализа материјала који се транспортује и врста кретања која треба да се оствари, укажу на методу која ће се применити. Међутим, пре него што се приступи решавању проблема, потребно је упознати се са својствима опреме за транспорт и манипулацију, тј. потребно је да пројектант има на располагању одговарајућу базу података транспортних машина и уређаја. Основне активности кретања материјал дате су на слици 6-2.

Не треба заборавити, да опрема није увек неопходна да би се решио неки проблем транспорта. Наиме, најједноставнији и најекономичнији метод је онај, који не захтева посебну опрему. Чињеница је /Apple 1972/, да поједностављење рада обухвата следећу општу процедуру:

- Елиминисати непотребна кретања.
- Комбиновати кретање материјала са осталим функцијама; извођењем технолошког процеса, контролом, складиштењем итд.
- Променити редослед активности у циљу скраћивања, елиминације или промене захтева за кретањем (транспортом).
- Упростити кретање да би се редуковао обим транспорта, транспортни пут, сложеност отпреме, итд.

Класификација постојеће транспортне опреме дата је у одговарајућој литератури, тако да се овај проблем неће разматрати у даљем тексту. Наглашава се да сви типови опреме за транспорт и манипулацију, који се могу применити за обављање задатих транспортних задатака треба да садрже низ заједничких својстава /Apple 1972/. Они морају да:

- Олакшају извођење физички тешких задатака,
- Обезбеде сигурну манипулацију и транспорт и минимизирају број незгода,
- Смање трошкове транспорта и манипулације,
- Повећају продуктивност, и
- Редукују могућност оштећења производа.

6.2. Поступак опште анализе

Сваки проблем унутрашњег транспорта и манипулације материјалом може се анализирати кроз три главне фазе: **материјал**, **кретање** и **метода**. Ближа подела фаза садржи:

- материјал (тип, карактеристике, количина),
- кретање (извор и места отпреме и допреме, логистика, карактеристике, начин управљања),
- метод (јединични терет - транспортна јединица, опрема, радна снага и физичка ограничења).

У току анализе и тражења најбољег решења за дати проблем унутрашњег транспорта потребно је следити доле наведену процедуру /Apple 1972/, која ће обезбедити да се ни један значајан фактор не превиди и да се добијени одговор пажљиво разматра до добијања најбољег решења. Поступак обухвата следеће кораке: дефиницију, истраживање, решење и реализацију.

Дефиниција:

- идентификовати проблем,
- одредити обим проблема (поставити границе система),
- поставити циљеве, и
- дефинисати проблем.

Истраживање:

- идентификовати податаке које је потребно прикупити,
- поставити план рада и редослед извођења,
- прикупити податке, и
- одредити тежину и значај појединих података и анализирати податке.

6. Унутрашњи транспорт

Решење:

- развити одговарајући систем (побољшања),
- припремити оправдање,
- обавити ревизију пројекта, и
- добити одобрење.

Реализација:

- извођење, припрема поступака за примену,
- супер ревизија постројења (инсталација), и
- праћење објекта у току пробног рада.

Први корак у анализи проблема унутрашњег транспорта је **идентификација проблема**. Уколико проблем није на прави начин и коректно идентификован, не може се ни тачно дефинисати, такође, не могу се одредити ни границе система. Међутим, уколико је генерални циљ побољшање транспорта материјала, тада је неопходан системски прилаз који ће се користити и у идентификацији појединачних проблема. Један од метода за дефиницију проблема је детаљна анализа целог система (постројења), посматрајући све оно што је интересно са гледишта унутрашњег транспорта. То захтева велику концентрацију при идентификацији свих аспеката активности које обухватају транспорт и манипулацију и које су отворене за могућа побољшања.

После идентификације проблема унутрашњег транспорта, следи одређивање целокупне области (делокруга) рада. Ово је неопходно, пошто се при решавању овог проблема често превише игноришу друге активности везане за проблем. Област задатка, **границе система**, морају да се идентификују и да се проблем анализира и реши у оквиру задатих граница и свих међузависних активности.

Пошто је проблем дефинисан, занатно се лакше могу одредити циљеви. **Циљеви** морају да буду јасно дефинисани, да би се могао да одреди степен њиховог испуњења у датом решењу (најчешће је присутан вишедимензионални циљ).

Коначно дефинисање целокупног проблема у овом кораку је неопходно, да би се обавила ревизија претходних размишљања и да се коначно поставе границе система (**нестабилност** пројектног задатка, /Зрнић 1993/).

Када је проблем у потпуности дефинисан, приступа се одређивању података који се морају прикупити. За прикупљање података обично се користе стандардни обрасци који се по потреби могу модификовати.

Следећи корак је планирање поступка и прављење термин плана за решавање проблема. Обим овог плана зависи у сваком случају од комплексности самог проблема.

У овом кораку прикупљају се неопходни подаци о: расположивим ресурсима, карактеристикама материјала, кретању материјала и методама, layout-у, расположивој опреми, успостављају се односи између пројекта и других функција предузећа, итд. По прикупљају неопходних података, потребно је одредити њихов значај и тежину и анализирати све прикупљене информације.

Решење ма ког проблема (развијање новог или побољшање постојеће система) унутрашњег транспорта обухвата процес упоређења прикупљених података и чињеница, са знањем и искуством аналитичара (пројектанта) у области унутрашњег транспорта.

Овај корак треба да обезбеди неопходне податке за верификацију датог решења и обухвата вредновање алтернатива, симулацију појединих процеса итд. За вредновање алтернатива реалног процеса са може применити вишекритеријумска анализа /Зрнић 1978, 1979, 1980/. Корак обухвата и припрему извештаја (појединачних и финалних) који треба да обухвате: разматрање решења у односу на дефиницију проблема и циљева, упоређење трошкова, преглед инвестиција, анализу експлоатационих трошкова итд.

6.3. Пројектовање великих и сложених транспортних система

Циљ овог поглавља је да покаже неке елементе развијене процедуре за моделирање и пројектовање транспортних система и да укаже на релевантне проблеме у моделирању и пројектовању од избора типа до коначног решења, а посебно утицај система на развој, планирање, пројектовање и перформансе његових појединих елемената.

Пројектовање **великих** и **сложених** транспортних система (**Large Scale Systems - LSS**) представља посебан изазов за пројектанта и то како са гледишта избора и распореда опреме (просторно и технолошки), тако и одговарајућих софтвера када се ради о програмски управљаним системима (слика 6-3). Пошто се ради о системима углавном велике сложености и димензија, великих капацитета и инсталисане снаге са различитим степеном веза између елемената (од веома лабавих до потпуно крутих) и са међусобним утицајима који могу да буду детерминисани или одређени стохастичким величинама њихова анализа и избор решења за дати пројектни задатак се може тражити само применом развијеног поступка моделирања на нивоу система. Користи се системски прилаз као начин који даје најбоље резултате и модел као истраживачки медијум који омогућава да се посматра комплексна реалност. У току истраживања коришћене су бројне референце, али се наводи само неколико /Bauer and Wegener 1975, Jones 1982, Kobayashi 1978, Sage 1979, Tomović,

6. Унутрашњи транспорт

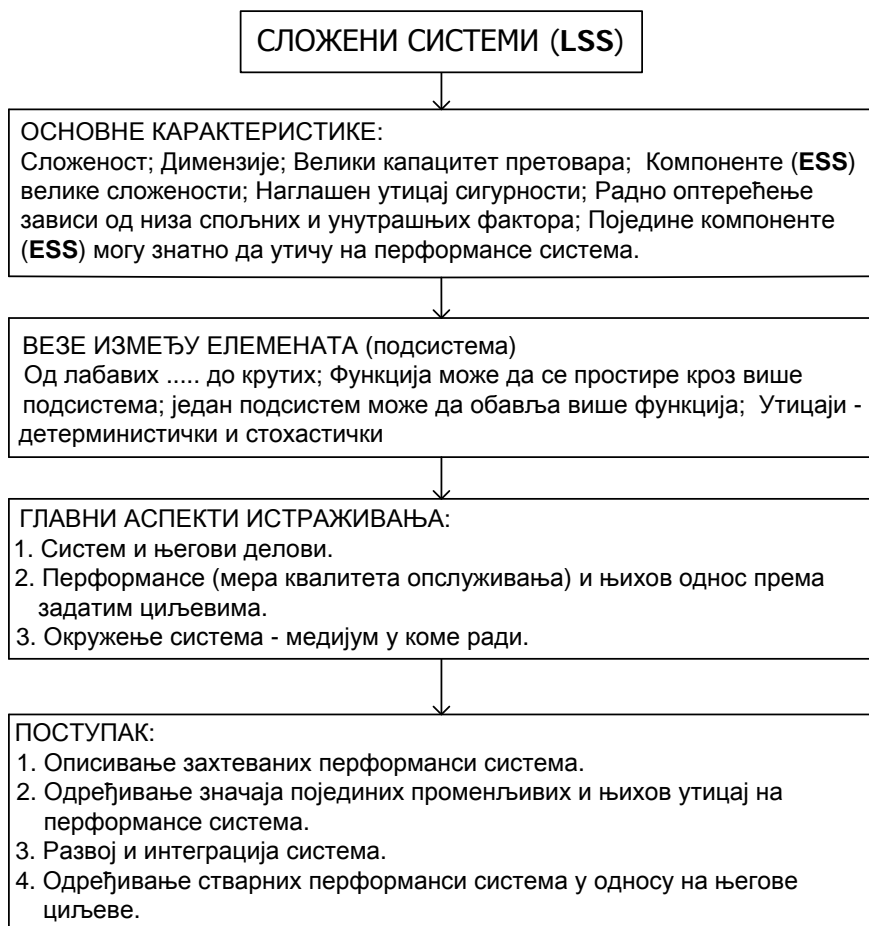
Karlplus 1979, Зрнић 1979, 1980, 1986, 1995, 1996a, 1996b, 1997, Зрнић и др. 1999, Зрнић и Јовановић 1999, ten Hompel, Schmidt 2007/.

Термин Large Scale Systems (**LSS**) се најчешће користи за означавање система са великим бројем компонената које треба да сарађују на достизању заједничког циља, покушавајући да учине ефикасно коришћење расположивих ресурса. У општем случају **LSS** састоје се од многобројних подсистема са међусобним узајамним дејством који извршавају различите планиране и управљачке функције. Управљање таквим системима најчешће се остварује са хијерархиском структуром, са планираном функцијом на највишем нивоу која се бави оптималношћу и ефикасношћу рада и управљачким функцијама на нижем нивоу које испуњавају жељене циљеве вишег нивоа и баве се проблемима неизвесности и сигурности (поузданости) система. Многи од горе разматраних система су **критични са аспекта сигурности**; мали недостаци у њиховој конструкцији могу да резултирају у битном ризику на људске животе и/или околину. Шта више, величина система је таква да чак и мала побољшања њихових перформанси могу да воде до битних финансијских добити. Из овога се види да постоји јасна потреба да се повећа сигурност и ефикасност, односно да се добију високе перформансе **LSS** система.

Транспортни системи често припадају класи комплексних система, а неки од њих групи великих система (**LSS**). Њихове основне карактеристика су /Зрнић 1996a/:

- **мултикритеријумски циљ** (векторска циљна функција није линеарна комбинација својих компонената; локални циљеви су често у конфликтном односу),
- **границе система** (често нејасне у односу на околину, одређују се на основу искуства и текућих захтева),
- **подсистеми** (у достизању локалних циљева оптимизација подлеже додатним ограничењима, која долазе од других подсистема или са вишег нивоа; сужава се могућност директне оптимизације локалног циља),
- **компоненте** (велики број компонената и координата стања; могу да се групишу у веће јединице које чине основну структуру блока вишег нивоа; хијерархијска организација - структурна и управљачка),
- **раст система** (на једној тачки експанзије система долази до засићења, тако да даљи раст доводи до супротних ефеката, утицаји на границе раста су: капацитет, поузданост, осетљивост итд.; агрегација подсистема има смисла само ако се формира заједничка глобална циљна функција),
- **управљање** (објекат управљања није хомоген, циљеви управљања не могу се изразити у општем случају у квантитативном виду; на сваком нивоу се решава управљачки триплет: објекат, циљ, ограничења, и

- **методе** (нема формалних метода помоћу којих се проблеми хоризонталне и вертикалне декомпозиције и локалне и глобалне оптимизације прецизно решавају; променљиве се описују квантитативно и квалитативно).



НАПОМЕНА: **ESS** - Елементарни подсистем: најмањи елемент сложеног система који је погодан за оптимизацију, односно који се разматра у оптимизацији система. Не може се даље декомпоновати без нарушавања задате функције.

Слика 6-3. Сложени системи (LSS)

Пројектовање и изградња великих транспортних система (**LSS**) захтева ангажовање знатних инвестиција и са обзиром на њихов значајни допринос у укупним трошковима пословања потребно је ангажовати стручњаке разних специјалности за њихову успешну реализацију. Ови системи су присутни у великим производним системима, обухватају транспорт у лукама, на терминалима за претовар контејнера и расутих терета, на железници, аеродромима, грађевинарству, рударству, термоелектранама, у дистрибутивним центрима, поштама, итд. Циљ овог поглавља је да прикаже неке елементе

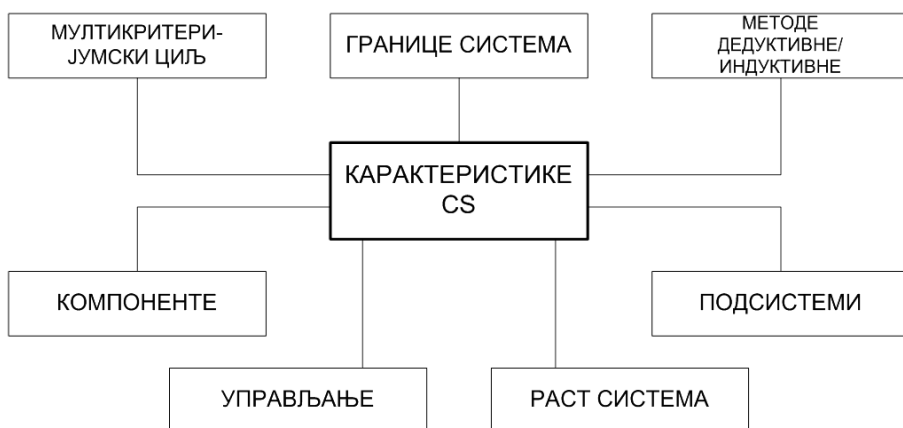
6. Унутрашњи транспорт

оригинално развијеног поступка за моделирање транспортних система и укаже на значај и неке проблеме у моделирању и пројектовању од избора типа до коначног решења, а посебно утицај система на развој, пројектовање, конструкцију и перформансе појединих његових елемената /Зрнић 1996а/.

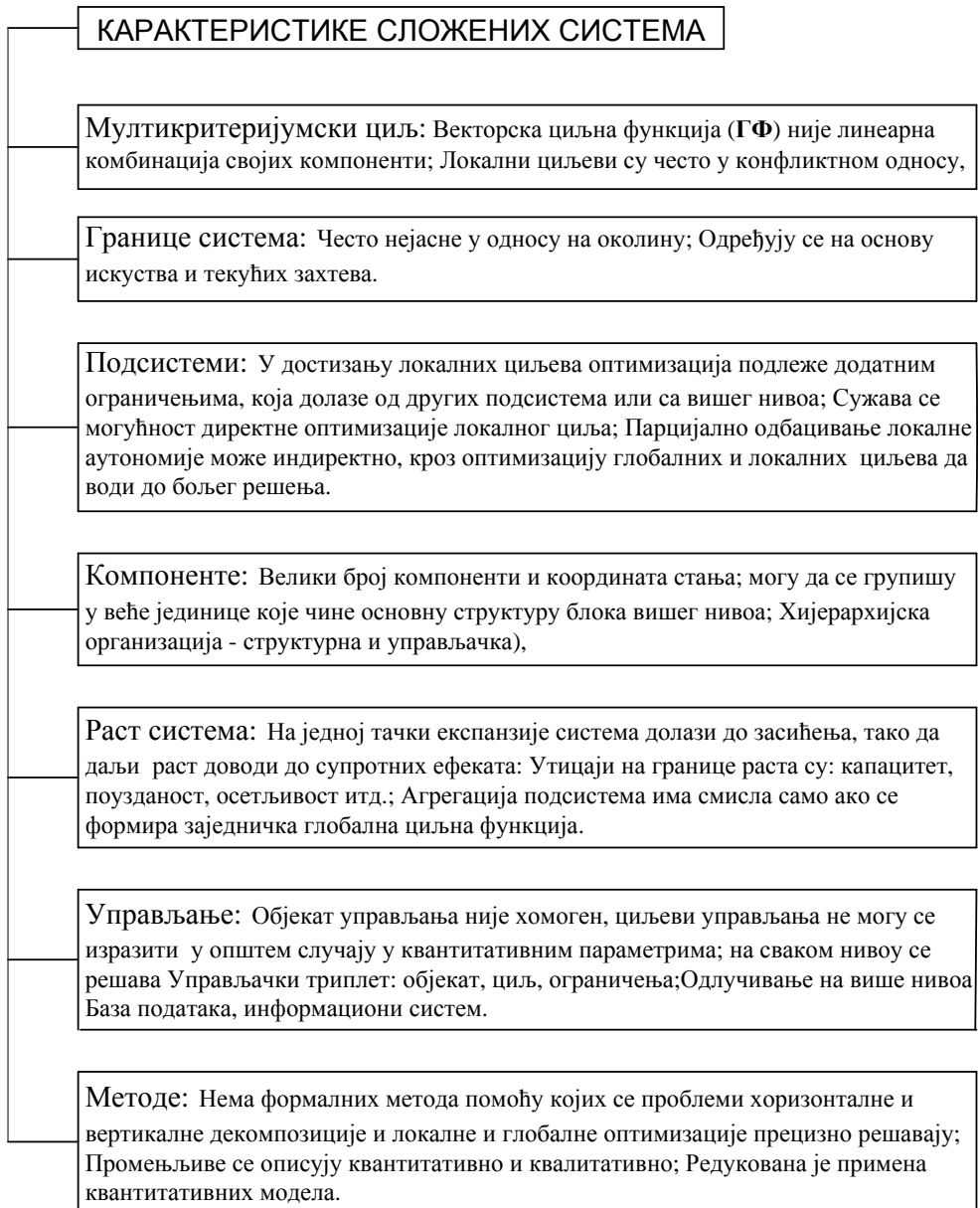
Основни проблеми ових система се састоје од: дефинисања система (подсистема), формирања layout-a, токова материјала и ефикасности простора. Layout представља посебан проблем код пројектовања радионица (сложени технолошки захтеви, потребна флексибилност, учесталост транспортних захтева). Код пројектовања складишта и система претовара има релативно једноставну форму, проблем је да се пронађе адекватно решење тока материја /Зрнић 1993 и 1995/.

Посебан проблем (у моделирању) представља класификација реалних процеса (детерминистички/стохастички) и примена одговарајућег модела. Стохастички утицаји могу се поделити на две категорије: на **утицаје околине** (окружења) и **система**. Утицаји околине се односе на медијум у коме систем ради и како он утиче на систем и његове перформансе. Стохастичке утицаје у систему (процес, динамика тока, синхронизација појединих процеса, layout, итд.) могуће је узети у разматрање и контролисати кроз процедуру моделирања реалних процеса и одговарајућу примену модела.

Сложеност ових система захтева посебну методологију за избор модела. Аналитички модели који се често користе (модели теорије чекања) за анализу глобалних решења могу да процене перформансе система. Међутим, чак и са поједностављењем и декомпозицијом система, није увек могуће да се адекватно постави одговарајући аналитички модел. Карактеристике сложених система су дате на сликама 6-4 и 6-5.



Слика 6-4. Карактеристике сложених система (Complex Systems - CS)



Слика 6-5. Карактеристике сложених система

Са становишта пројектантске праксе, детерминистички приступ је једноставнији, али је могућност његове примене ограничена. Стохастички приступ реалније описује процес и његов динамички карактер. Познавање ових законитости понашања води ка адекватном описивању кретања материјала и користи се као извор знања у пројектовању система, односно извођењу симулационог експеримента. Формирана је база података на основу

6. Унутрашњи транспорт

спроведених истраживања која се се користи као извор знања у моделирању система. Стварање базе података је показало да постоје општи закони понашања неких система и процеса. Може се закључити да је могуће описати емпиријске законе релевантних фактора неких токова материјала Ерланговом и Нормалном расподелом ($E_k, k = 1, 2, 3, \dots, \infty$), /Зрнић 1978, 1979, 1996 и 1997/.

Уочени закони понашања имају за циљ да подигну квалитет процеса пројектовања, посебно код нових система, када ови релевантни подаци о присутном процесу нису доступни пројектанту. Наведени закони имају за циљ да дају општи карактер понашања система, тако да се кроз процес моделирања пројектант на лакши начин приближава скупу реалних решења.

Подаци прикупљени снимањем су статистички припремљени, тестирани и хипотезе о припадности података одговарајућим теоријским расподелама су створене.

Посебан проблем представља избор модела теорије редова чекања. Референце /Kleinrock 1976, Cooper 1981, Jones 1982, Junemen и Kuhn 1987, Taha 1997, итд./ дају различите типове теоријских модела, али нема индикације о адекватној примени у решавању проблема и разлици између теорије и праксе. За анализу овог проблема морамо поћи од класификационе шеме, Kendall /1953/, Lee и Longton /1959/, Taha /1976/, дату као: $(x/y/z):(u/v/w)$, где су симболи дати у Табели 6-1.

Поред тога, индекс се ставља на први или други симбол код групних долазака или опслуживања ($M^{(b)}/N/C \dots$ или $M/M^{(b)}/C \dots$). Ове ознаке се обично користе у литератури теорије редова чекања. Преглед највише коришћених модела редова чекања, дат у референцама је приказан у табели 6-2.

Неки примери поља реалних процеса, из студије истраживања, дати су на сликама 6-6 до 6-9. Слика 6-6 приказује расподелу времена циклуса рада виљушкара у зависности од растојања кретања (дужине пута) и расподелу времена циклуса рада складишне високорегалне дизалице, зависно од учешћа мануелног рада (нпр код ручног комисионирања). Слика 6-7 показује утицај броја различитих позиција m на расподелу циклуса производње и монтаже. Слика 6-8 приказује поља расподеле времена реалних циклуса процеса производње. У појединим случајевима производна линија може да се посматра као детерминистички процес (D). Поља реалних процеса токова материјала су освенчена на дијаграмима. Треба приметити да је само мали део дијаграма покривен теоријским моделима /Зрнић 1996, 1997/. На слици 6-9 наведене су теоријске расподеле, које одговарају реалним процесима, времена извођења операција транспортног циклуса у подземном копу рудника бакра /Јовановић 2000/.

Табела 6-1. Символи

x	Расподела долазака или времена између долазака	u	Дисциплина опслуживања
y	Расподела времена опслуживања	v	Највећи број у систему
z	Број канала опслуживања C	w	Величина популације
M	Poisson или еквивалентна експоненцијална расподела	D	Детерминистички процес
GI	Општа (independent) расподела	E_k	Erlang-ова расподела са k фаза
G	Општа расподела	HE_k	Хипер-експоненцијална расподела са k фаза
FCFS или FIFO	Први који долази први се опслужује	GD	Општа дисциплина опслуживања
LCFS или LIFO	Последњи који долази први се опслужује	HELPF	Потпуна помоћ између оних који опслужују
SIRO	Опслуживање по случајном редоследу	HELPS	Делимична помоћ између оних који опслужују

Табела 6-2. Преглед модела теорије редова чекања датих у референцама

МОДЕЛИ ТЕОРИЈЕ РЕДОВА ЧЕКАЊА			
Poisson-ови модели		Не-Poisson-ови модели	Специфични не-Poisson-ови модели
(M/M/C):(FCFS/N/∞)	(M ^(b) /M/C):(GD/∞/∞)	(M/G/1):(GD/∞/∞)	(M/E ₂ /2):(GD/2/∞)
(M/M/C):(FCFS/∞/∞)	(M/M ^(b) /C):(GD/∞/∞)	(M/E _k /1):(GD/∞/∞)	(M/HE ₂ /1):(GD/2/∞)
(M/M/C):(GD/N/∞)	(M/M/1):(FCFS/∞/∞)	(M/G/1):(PRI/∞/∞)	(M/HE ₂ /2):(GD/2/∞)
(M/M/C):(G/D/∞/∞)	(M/M/1):(GD/N/∞)	(GI/M/1):(GD/∞/∞)	(E ₂ /M/1):(GD/N/∞)
(M/M/C):(PRI/∞/∞)	(M/M/1):(GD/∞/∞)	(E _k /M/1):(GD/∞/∞)	(E ₂ /M/2):(GD/N/∞)
(M/M/C):(GD/K/K)	(M/M/C):(HELPF/N/∞)	(D/M/1):(GD/∞/∞)	(HE ₂ /M/1):(GD/N/∞)
	(M/M/C):(HELPS/∞/∞)		(HE ₂ /E ₂ /1):(GD/1/∞)

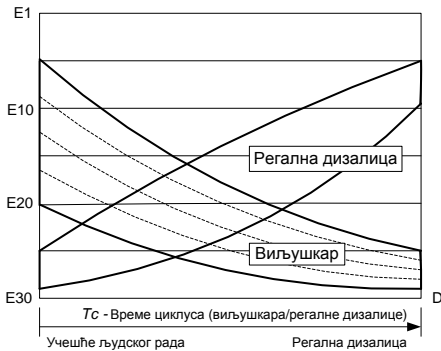
Ситуације настају када постаје прилично сложено да се проблем моделира аналитички, или, чак и ако математички модели могу да се конструишу, али доступна техника није погодна за решавање насталих модела. У таквим случајевима, било би неопходно да се прибегне симулационом моделирању /Зрнић 1978, 1979, 1980, 1996, Зрнић и др. 1992, Зрнић, Савић 1997, Junemen and Kuhn 1987/.

Још један проблем представља ниво универзалности модела. Генерални за концепт и стратегију и детаљни за оптимизацију и димензионирање система, или када се алгоритам управљања развија да дефинише структуру модела (слика 6-10) /Junemen and Kuhn 1987, Зрнић 1996/. При томе је значајно усвојити одговарајући степен општости модела:

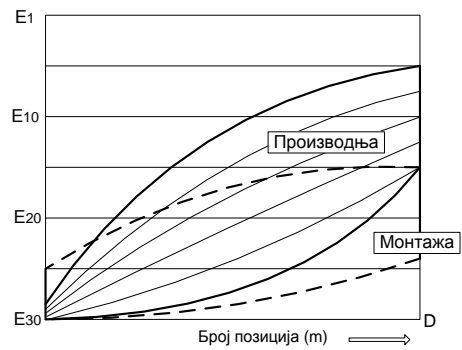
- **општи** за избор алтернатива, анализу концепције и стратегије и предходно одређивање капацитета; користе се најчешће квалитативна, упоредна вредновања; примењују се аналитички модели или груба симулација (већи степен апстракције), или

6. Унутрашњи транспорт

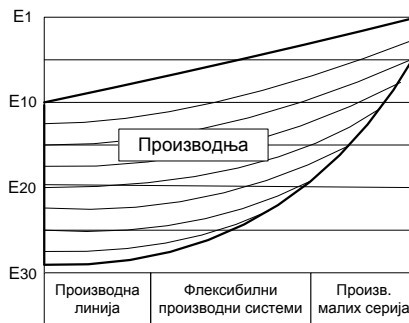
- **детални** за димензионасање машина и постројења, техничко функционисање и оптимизацију система, односно када се развија алгоритам управљања.



Слика 6-6. Виљушкар и регална дизалица



Слика 6-7. Утицај броја различитих позиција



Слика 6-8. Област реалних расподела времена циклуса производње

Правилан **избор модела** је један од битних предуслова за добијање резултата моделирања који одговарају стању реалног система. При томе је потребно обратити пажњу на следеће елементе: **структуру модела**, **степен апстракције**, **формулисање стратегије система** и **алгоритме управљања**, статистичке резултате објекта управљања и друге специфичности у моделирању транспортних система.

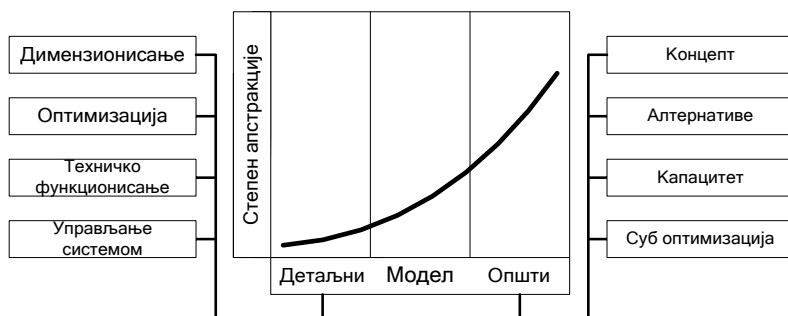
Проблем коме треба посветити посебну пажњу је избор структуре модела и захтева који се јављају при спровођењу процедуре моделирања. При томе типове модела можемо да сврстамо у три групе: **линеарни системи**, **мрежа повезаних система опслуживања** и **комплесна мрежа повезаних система опслуживања** са међузависним стањима (слика 6-11).

Формулисање стратегије система и алгоритма управљања зависно од нивоа хијерархије управљања (операција, блок, мрежа, сложена мрежа) утиче на процес моделирања:

- **операција**; моделирање топологије - конструкција модела са претходно припремљеним блоковима (једноставна правила),
- **блокови**; моделирање - варирање параметара (опис функције без идентификације објекта),
- **мрежа**; могућност моделирања стратегије управљања (алтернативе регулисања протока у типичним структурама, спајање/раздвајање, итд.),
- **сложена мрежа**; мало стандардних правила за моделирање, користе се правила отпреме - основа за флексибилне транспортне системе /Зрнић, Косанић 2001/, мултикритеријумска функција циља, захтеви према редоследу, правила оптимизације.

	Транспортне операције	E ₁	E ₂	E ₃	E ₄	E ₅	E ₆	E ₇	E ₈	...	N	D
1	Бушење минских бушотина	X	X									
2	Транспорт УТИ машинама					X	X	X				
3	Истовар у рудничко окно										X	
4	Утовар у композицију вагона										X	
5	Локомотивски транспорт		X	X								
6	Истовар композиције вагона										X	
7	Одвоз помоћу скип уређаја										X	

Слика 6-9. Расподеле времена извођења операција у руднику бакра
(E - Ерлангова расподела, N - Нормална расподела, D - константно време ослуживања)



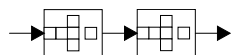
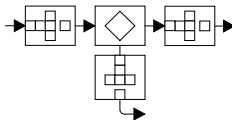
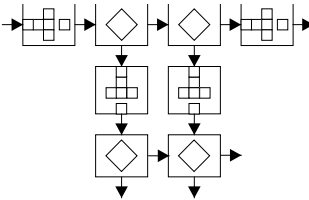
Слика 6-10. Ниво универзалности модела

Напомиње се да при моделирању на нивоу операције, блока и понекада на мрежи могуће је извести симулациони експеримент у једној равни. Код сложене мреже израда симулационог експеримента обухвата рашчлањавање у постављене равни према уобичајеној хијерархији управљања у логистици; при томе је између равни омогућена дефинисана измена података.

Избор модела према врсти статистичких резултата објекта управљања дат је зависно од објекта анализе /Junemann 1984/:

6. Унутрашњи транспорт

- **јединица руковања** (алати, артикли, итд.); искоришћење опреме и машина, време протока, време застоја, итд.,
- **транспортна јединица** (палете, судови, контејнери); број, време протока, време чекања, итд.,
- **транспортна средства** (дизалице, виљушкари, итд.); капацитет, учесталост у раду, време манипулисања, итд.,
- **простор** (површина, запремина); капацитет складишта, транспортни путеви, итд., стање залиха, оптерећење пута, искоришћење запремине, итд.,
- **људи** (транспортни радници, радници на комисионирању, итд.); време рада, време прекида, оптерећење, итд.

СТРУКТУРА МОДЕЛА		
Врста	Карактеристике	Методe
Линеарни системи. Међусобно дејство само између суседних елемената	Не постоје правила управљања и отпреме.	Аналитичке, симулација. 
Мрежа повезаних система опслуживања са међусобно независним конфликтним чворним тачкама. Опслуживање и одлучивање са једноставним правилима.	Функција система опслуживања је независна од стања других елемената. Локална правила (стратегија) гранања и сакупљања; међусобно независне тачке одлучивања. Регулисање протока зависи од објекта.	Аналитичке (ограничена примена), симулација. 
Сложена мрежа повезаних система опслуживања конфликтних области са међусобно зависним стањима (понашање зависи од стања и појављивања догађаја другог елемента). Виша стратегија радне мреже. Поједина стања се региструју. Уводе се матрице одлучивања.	Оптимизација стратегија везаних за објекат и међусобно зависних стања. Поред управљања морају да се примене и правила отпреме.	Симулација 

Слика 6-11. Структура модела система

6.4. Перформансе система

Потреба за предвиђањем и проценом перформанси и постоји од почетног концепта архитектуре система до његовог функционисања после инсталације. Тачност ових предвиђања се заснива на степену наших могућности да прикажемо карактеристике рада компонената система, на нивоу перформанси система. Пројектовање система захтева јасно разумевање комплексних интеракција између индивидуалних компонената система. У планирању новог

система, пројектант мора да направи две врсте предвиђања. Први тип је да предвиди природу примене (функцију) и ниво оптерећења система (карактер оптерећења система). Термин оптерећење означава количину захтева за опслуживањем постављених систему. Други тип, прогнозе односи се на избор између пројектних алтернатива, на основу хардверске и софтверске технике и технологије који ће бити доступан у развојном периоду планираног система. Основни критеријум за избор је компромис трошкови - перформансе. Тачност такве прогнозе почива на нашој способности приказивања карактеристика перформанси компонената система у укупним карактеристикама перформанси на нивоу система /Zrnić 1996a, 1996b, 1997, Zrnić, Jovanović 1999, Zrnić 2000/.

Студија истраживања система може да се односи на цео систем, или део система, она може да допринесе пројектовању или развоју новог система, или да процени и унапреди постојећи систем. Тако да, широк спектар специфичних истраживачких проблема спада у ову дефиницију. Постоје најмање три главна аспекта било ког проблема истраживања система /Optner 1973/:

- Сам систем и његови делови.
- Перформансе система у односу на његове циљеве.
- Окружење система - медијум у коме ради.

Сваки од ових аспеката може се описати преко бројних својстава или карактеристика које називамо варијабле. Истраживање система захтева добијање информација о релевантним варијаблама о сваком од ових аспеката. Својства или променљиве које описују систем, његов медијум или перформансе система су значајне за проблем истраживања, да прикажу разлике у којој мери варијабле утичу на степен до којег, и ефикасност са којима, систем остварује своје циљеве. Термин варијабле овде се односи на ма које својство једног субјекта, који може да предпостави различите квантитативне или квалитативне вредности у различитим приликама.

Променљиве система могу да опишу различите нивое организације дефинисаног система:

- целокупни систем који је дефинисан као предмет студирања, ограничен од истраживача,
- подсистеми - део система који се може разликовати према структурној или функционалној основи, и
- компоненте - саставни део подсистема.

Променљиве перформанси система односе се на својства описана резултатима рада система, уважавајући постизање циљева система. Варијабле перформанси могу да се опишу на различитим нивоима организације:

6. Унутрашњи транспорт

- циљеви - укупна сврха система,
- функције - главне класе акција и захтевани ниво ефикасности сваке,
- перформансе - захтеване радне карактеристике, специфичне димензије које описују захтевани ниво сваке перформансе.

Ниво променљивих система се не поклапа са нивоом променљивих перформанси система. Неколико подсистема могу да допринесу перформансама једне функције и дати подсистем може да допринесе перформансама неколико функција. Перформансама које компоненте система може да буде описана односом захтеваних димензија перформанси система.

Променљиве окружења се односе на својства околине система која утичу на систем и његове перформансе. Шта је систем, а шта је окружење у било ком датом случају често је произвољно. Основа значаја варијабле је мера до које су њене разлике повезане са разликама у степену достизања циљева система.

Променљиве које описују услове у окружењу система могу да буду значајне или зато што утичу директно на систем и тако мењају његове перформансе (нпр. ниска температура) или зато што утичу на перформансе система и тако мењају степен испуњавања циља (нпр. ветар).

Променљиве које описују систем могу да утичу на достизање циља директно (нпр. ниво перформанси једног посебног аспекта овог циља), или могу да интерактивно утичу на друге променљиве перформанси система.

Захтеване информације о проблему истраживања система састоје се од:

- спецификације свих релевантних варијабли система, окружења и перформанси система, и
- односа који изражавају ефекат њихове варијације на остварење циљева система (односи првог или вишег реда).

У почетној фази развоја система, потребно је специфицирати варијабле које описују перформансе система и захтевани ниво тих варијабли. Затим поставити хипотезу како да се одреде карактеристике које показују неопходни ниво потребних перформанси. Неке варијабле система су значајне ако утичу на перформансе система. Тако да ће одређене њихове вредности довести до оптималних перформанси система. Развој самог система обезбеђује физичко изражавање ових хипотеза. Евалуација стварних перформанси система у односу на његове циљеве је валидација исправности закључених односа.

Процена перформанси система у фази пројектовања је сложен и одговоран посао, тако да је развијена методологија за меру квалитета опслуживања.

Можемо поделити мере перформанси у две категорије: мере оријентисане према кориснику и према систему/Зрнић 1996/, слика 6-12:

- мере оријентисане према кориснику: време обрта (време које протекне од подношења захтева до обављеног опслуживања); време реакције (интервал времена које протекне од тренутка уласка у систем до почетка опслуживања, број налога испоручених на време, број задовољних купаца, број рекламација, време за одговор на рекламацију, време одзива) и
- мере оријентисане према систему: проток (просечан број процесуираних јединица у јединици времена - мера степена продуктивности), време чекања, време у систему, искоришћење ресурса - део времена када је ресурс заузет, поузданост, осетљивост итд.



Слика 6-12. Перформансе система (мера квалитета опслуживања)

Проток дефинише капацитет система. Еквивалентан је стопи доласка јединица, под условом да систем може да завршава послове опслуживања без стварања заостатка. Уколико су присутни стални доласци јединица које чекају на опслуживање редови чекања ће расти бесконачно, пошто механизам долазака не зависи од стања система (систем је нестабилан). Одрживост рада система је могућа само уколико механизам долазака јединица зависи од стања система.

Повратна спрега је важна врста интеракције: делује позитивно (када неадекватан механизам управљања води систем у нестабилни режим рада и коначно у врло нежељену оперативну област - пропусна моћ канала се смањује и настају велики застоји); делује негативно (долазак јединица се смањује када се повећава ред чекања, одржава се стабилност система, смањују се варијације као и флукуације загушења).

6.5. TPD метод и моделирање система

Треба напоменути, да пројектовање система захтева јасно разумевање сложених интеракција између појединих компонената система. Релативно је лако направити листу, која укључује све компоненте система и параметре који могу да имају утицај на перформансе система. Теже је идентификовати скуп критичних параметара и пронаћи везу или једначину који се односе на укупне перформансе система за те параметре. Тешкоћа је у томе што је укупан систем више од збира његових компонената.

Предвиђање укупних перформанси система (слика 6-13) је тешко, јер природа интеракција је уопште нелинеарна и недетерминистичка, тако да проблем може да се сведе на изолацију и оптимизацију чворних тачака ("уских грла", ресурса чије могућности озбиљно нарушавају целокупне перформансе система), узимајући у обзир интеракције између система и његових елемената и обрнуто. Уско грло се креира у неком ресурсу када се интензитет тока приближава капацитету ресурса (настаје засићење ресурса). Засићење је ниво загушења на којима послови почињу да се осећају јаке сметње једни од других /Зрнић 1979, 1980, 1995, 1996а, 1996б/.

Чворна тачка или елементарни подсistem (**Elementary Subsystem - ESS**) представља место обављања технолошких операција, успоравања тока материјала због претовара или привременог прекида, гранања или прикупљања транспортних токова, када се мења транспортно-техничко стање терета, или се материјал привремено складишти /Зрнић 1979/. По дефиницији **ESS** је подсistem који није у стању да се даље разлаже без нарушавања дате функције и који је погодан за оптимизацију у анализи система. Основни циљ за увођење појма **ESS** је да се дефинишу границе, тако да се омогући оптимизација елементарног подсistema на најповољнији начин. Стога пројектант треба да одреди одговарајући скуп елемената овог подсistema.

На пример, **ESS** може да буде претоварни мост на терминалу за расуте терете (оптимизација кретања колица и погона дизања у циљу смањења претоварног циклуса, поступак је дат у раду "Some problems of modeling ..." /Зрнић 1996а/, улазно излазна зона у високорегалном складишту /Зрнић и др. 1992/, мобилна дробилица C_{13} /Ловановић 2000/, (в. слику 6-16), контејнерски

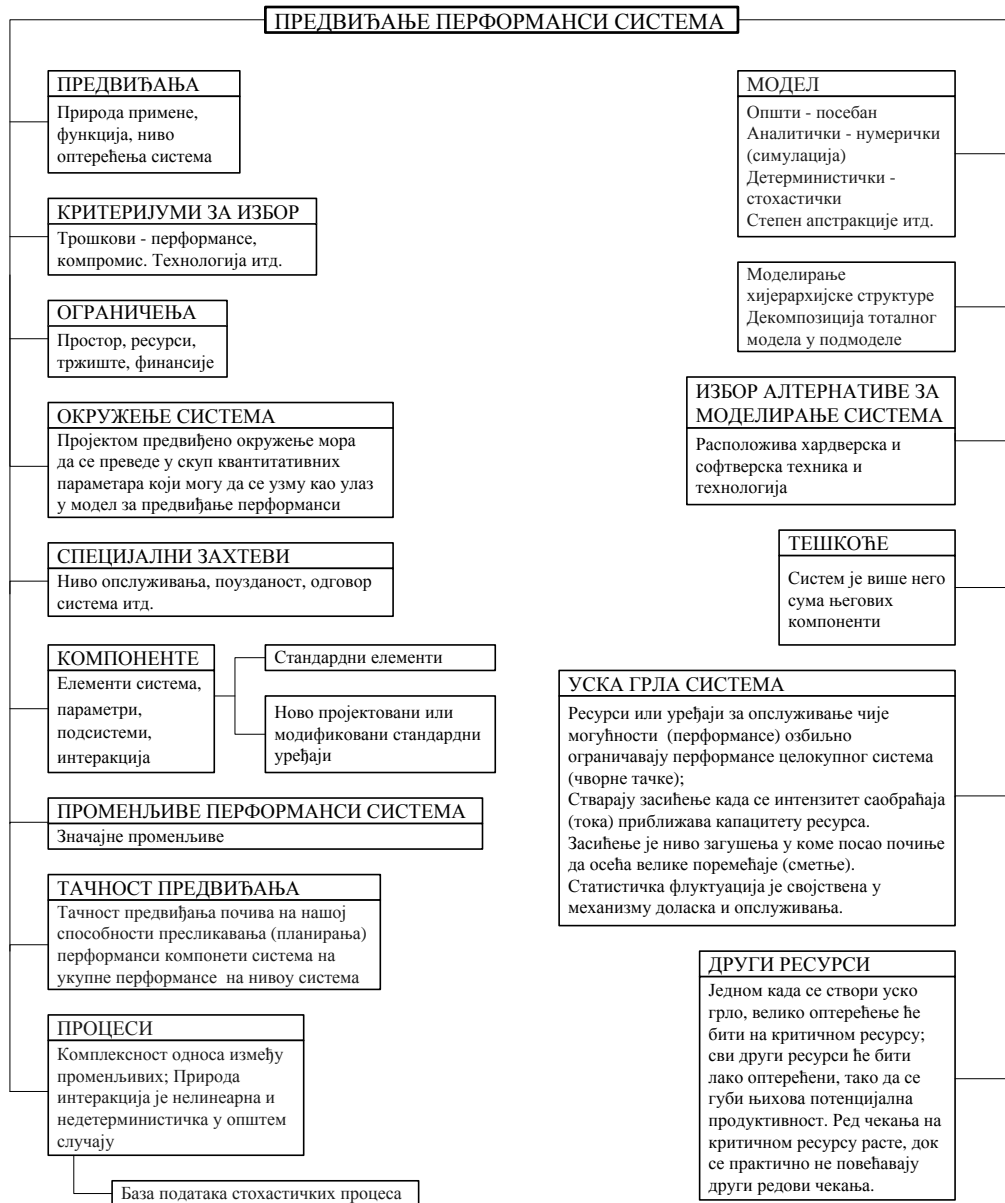
кран на терминалу, утицај одржавања конструкције на продуктивност /Зрнић 2004 и 2005/ итд.

Основна идеја поступка **TPD** - **Total Performance Design** /Зрнић 1979, 1980, 1996a, 1996b, 1996c/ је да координира методе операционих истраживања за анализу на нивоу система и методе оптимизације на нивоу појединих компонената. Посебно у случају када је могуће стандардне компоненте модификовати (reengineering процес), или када је потребно развити нову конструкцију појединих компонената. У оба случаја захтеви које поставља систем се третирају као пројектни задатак за компоненте. При томе у току целог процеса пројектовања анализирају се међусобни утицаји система, компонената и околине (слика 6-14 и 6-15).

Приказани модел на нивоу система омогућава **интегрисано разматрање** симулационог модела и методе вишекритеријумског вредновања. Прилаз је базиран на следећем концепту: симулациони модел се комбинује са формалним процесом вредновања да би се започео итеративни процес тражења решења. Резултати симулације у ма ком временском тренутку могу се подвргнути формализованој процедури вредновања која садржи вишекритеријумску структуру циљева. Поступак омогућава вредновање перформанси система, као и индикатора опште корисности (нпр. утицај радних и климатских услова, умор, могућност повреде, испуштање гасова, вибрације, итд.).

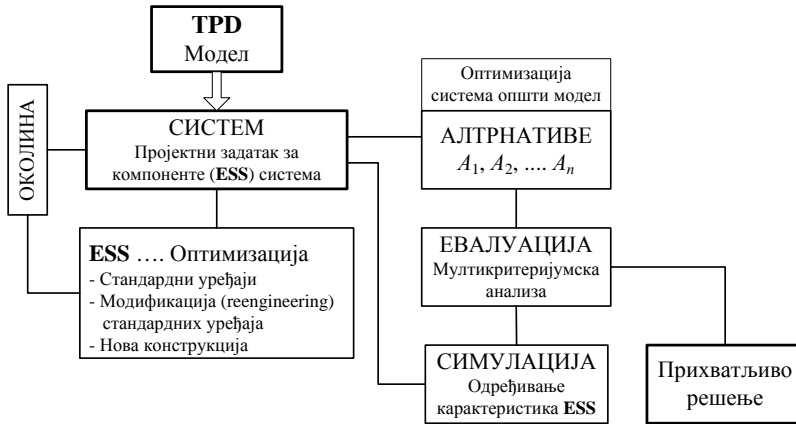
Симулациони модели могу да представе комплексан систем, али не генеришу оптимална решења, они само описују последице датих алтернативних решења. Решењу планираног проблема се прилази експериментално, помоћу итеративног процеса учећи о понашању моделираног система под различитим условима и изоловању чворних тачака (**ESS**). Експериментални карактер симулације кореспондира на специфичан начин са итеративним процесом одлучивања. Развијени модел вредновања је базиран на теорији корисности (utility theory). Модел евалуације добија податке из симулационог модела и вреднује их користећи вишециљну структуру, тако да итеративан поступак доводи до бољих решења. Ово чини да процес тражења решења постаје процес учења, у коме кроз итеративну примену симулације и евалуације се долази до пројектног решења које је прихватљиво. Предложени процес планирања омогућава да у избору алтернатива поред пројектанта учествују и доносиоци одлука.

6. Унутрашњи транспорт

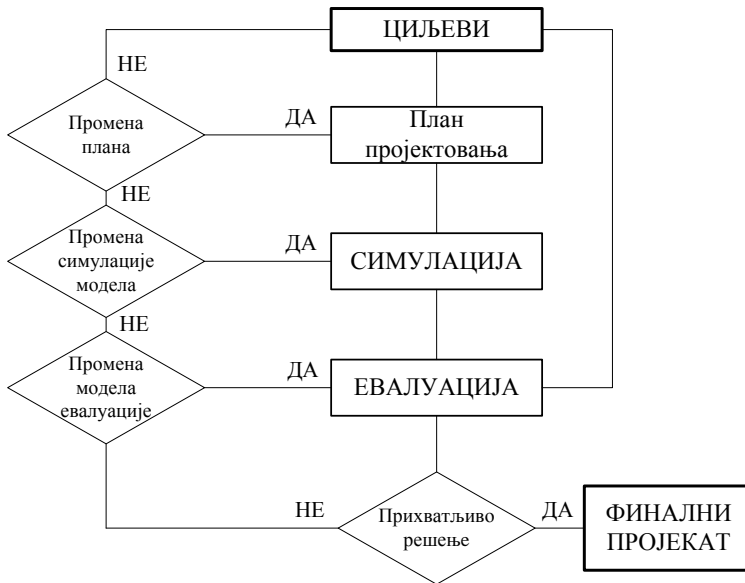


Слика 6-13. Прогнозе перформанси система

Алгоритам за спровођење вишекритеријумске анализе очекиване корисности може да се опише у неколико корака, уколико у процесу одлучивања, треба извршити избор између n различитих алтернатива V_i ($i = 1, 2, \dots, n$) и ако у процесу евалуације учествује m критеријума K_j ($j = 1, 2, \dots, m$). Поступак је описан, са примером у поглављима 1.12 - 1.14. /Зрнић 1979/.



Слика 6-14. Поступак TPD (Total Performance Design)



Слика 6-15. Основни алгоритам TPD

6.5.1. Идентификација подсистема и елемената система

Идентификација подсистема и његових елемената се добија декомпозицијом сложеног система. При томе критеријуми декомпозиције су функционални, просторни или организациони. Најчешће се користи функционална декомпозиција, која може да се изведе на два начина, и то као:

- **структурна декомпозиција**, када се међусобне везе могу посматрати као бинарне /Worfield 1974/, или као везе са различитим интензитетом /Sidney 1972/, и

6. Унутрашњи транспорт

- **аналитичка декомпозиција** система применом оператора веза /Mesarović и Takahara 1975/.

Концепт бинарних матрица /Worfield 1974/, је једноставнији за примену у пракси, уводи се за разматрање функционалног структуралног моделирања и користи се за описивање присуства или одсуства међусобних веза или утицаја елемената сложеног система /Зрнић и Јовановић 1999, Јовановић 2000/. Математички исказ међусобних релација је:

S_iRS_j - елементи система имају међусобне везе;

$S_i\bar{R}S_j$ - елементи система немају међусобне везе.

При томе сложени систем се састоји од више подсистема који најчешће садрже велики број елемената.

$$S = \{S_1 \cup S_2, \dots, S_{s-1}, S_s\}$$

Метод хијерархијске функционалне декомпозиције може се применити на било коју квадратну, транзитивну матрицу, чији поједини елементи могу имати и повратне везе. При томе је могуће дефинисати хијерархијски ниво (видети детаљније /Јовановић 2000/).

Пример функционалне декомпозиције једног алтернативног решења до нивоа елементарног подсистема, код анализе подземног копа у Бору, дат је на слици 6-16. Критеријум за декомпозицију сложеног система у подсистеме је функционалан, који у овом случају одговара и просторном. На сликама 6-17 и 6-18 дат је пример одређивања подсистема ($S_1 - S_6$) код анализе транспортног система подземног копа у руднику бакра Бор. Детаљнији опис примењеног поступка декомпозиције сложеног система дат је у раду /Зрнић и Јовановић 1999, Јовановић 2000, Јовановић и Зрнић 2002/.

Резултати истраживања развоја савремених метода за пројектовање транспортних система и оптимизацију њиховог рада и развој примене **TPD** методе су следећи:

- извршена је синтеза теорије и праксе,
- уведен је концепт чворне тачке, елементарног подсистема који је погодан за оптимизацију
- омогућена је оптимизација на различитим хијерархијским нивоима,
- предложени поступак итеративне примене симулације и вредновања омогућио је корак по корак, увид у поједина решења и њихову корисност, и
- конструкција се разматра као интегрални део сложеног система.



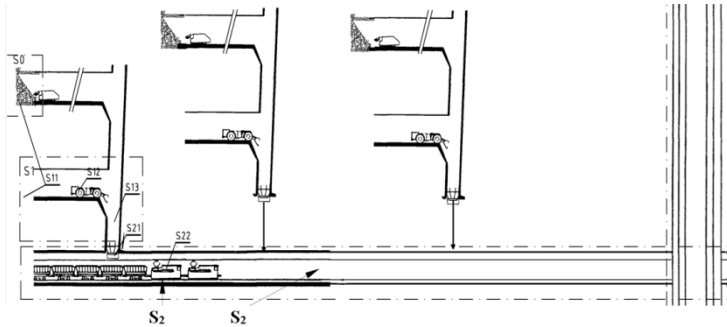
Слика 6-16. Функционална декомпозиција

6.6 Утицај одржавања на функционисање контејнерског терминала

Конкурентност у светској економији и очекивања купаца за повећаним перформансама, довела су до захтева за оптимизацијом лучких терминала, односно брзим и поузданим трансфером терета уз ниже трошкове. Развој ефикасне, аутоматизоване механизације омогућио је да се значајно повећају перформансе операција на терминалу. Напредак у техничким решењима обалских контејнерских дизалица, као највеће инвестиције у систему претовара и складиштења терета, је имао значајан ефекат на ефикасност операција на терминалу. *Просечни циклус је дефинисан као средње време које је потребно да дизалица захвати контејнер, пренесе га и постави на возило, ослободи контејнер и врати се на позицију из које креће да захвати нови контејнер.* Број циклуса на час показује перформансе дизалице, односно процену продуктивности терминала.

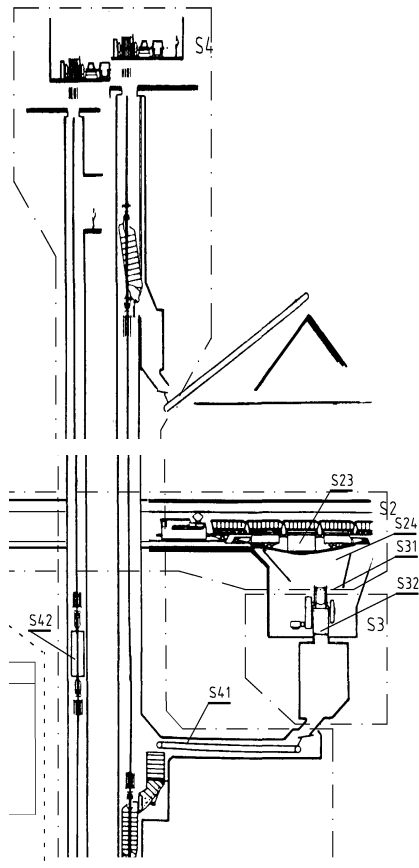
Рудник бакра Бор - подземни коп

Граница система - захватање, транспорт и извоз руде



Слика 6-17. Транспорт и извоз руде (S_0 - Откоп руде, S_1 - Подсистем захвата и откопног транспортера, S_2 - Подсистем транспорта на нивоу главног транспортног ходника,

Граница система - захватање, транспорт и извоз руде



Слика 6-18. Транспорт и извоз руде (S_3 - Подсистем примарно дробљење, S_4 - Подсистем одвоза руде скип уређајем)

Стварни број циклуса који дизалица може да оствари и номинални капацитет су знатно мањи од прорачунатог, услед застоја у трансферу контејнера на доку, формирања реда чекања испод дизалице, итд. Посебан утицај на продуктивност терминала имају трошкови, који укључују набавку механизације, развој терминала, одржавање механизације и трошкове експлоатације. Критеријум за коначни избор решења мора бити фокусиран на повећање капацитета, или смањивање трошкова. Пошто се код оваквих кранова, конструкција посматра као интегрални део сложеног система (чворна тачка - **ESS**), посебна пажња мора да се посвети њиховом одржавању, ово је посебно значајно и са аспекта сигурности услед ризика за људске животе и/или околину.

Животни век конструкције (*useful structural life*) представља време које дизалица може да ради са прихватљивим ризиком од отказа. Последице отказа могу се ограничити периодичном инспекцијом. Редовно превентивно одржавање је веома значајно и утиче на продужење животног века крана, смањује време застоја и спречава већа оштећења. Одржавање предвиђа подмазивање свих механизма, проверу мотора, редуктора, итд., па све до редовне контроле заварених спојева, завртњева и закивака. Посебна инспекција се препоручује после олујних ветрова. Упутство за превентивно одржавање даје доста информација о учесталости прегледа и позицијама које треба проверавати и одржавати. Програм одржавања треба да предвиди неопходне акције да би се смањио ризик од лома на прихватљиви ниво.

Користан век конструкције може да се продужи побољшањем појединих њених детаља и већим интензитетом и фреквенцијом инспекције. Предвиђање појава и раста пукотина услед замора се заснива на статистичким подацима и принципима механике лома. Пукотине настају најчешће на завареним спојевима. Пукотина расте са сваким циклусом оптерећења, све док достигне критичне димензије и настане изненадни пад конструкције. Програм одржавања и процена века конструкције ових кранова се изводи по фазама. Инжењерска визуелна процена обезбеђује информације о раду и садашњем стању конструкције. Обухвата процену стања критичних чланова од лома (**Fracture Critical Members - FCM**) и одређивање да ли неки заварени спој може да убрза пораст пукотине услед замора. Чланови критични на лом су они чија би хаварија могла да доведе до колапса крана или падања терета. Од посебног значаја је елиминација неадекватних заварених веза на члановима који су критични на лом.

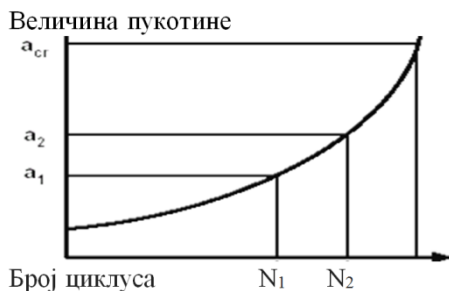
Анализа кумулативног оштећења обезбеђује методу за процену интервала инспекције без разарања (**Non-Destructive Testing - NDT**). Спецификација структура које су циклично оптерећене показује да је усвојена филозофија пројектовања "толерисања оштећења". То значи да уколико се пукотина услед замора деси на ма ком члану, остали део структуре ће бити способан да

6. Унутрашњи транспорт

сигурно носи терет све док периодични преглед не открије пукотину. Зато је могуће да интервал периодичних инспекција буде довољно дугачак, да инспекција буде економски оправдана, али довољно кратак да се открије пукотина пре него што се достигне нестабилно стање.

Иницијална процена корисног века крана на бази нивоа текућег одржавања заснована је на стању конструкције и предвиђању пукотина услед замора. На основу релативног кумулативног оштећења предвиђа се могућа појава пукотина услед замора и процењује преостали век конструкције. Почетна процена обезбеђује користан живот крана, на тренутним нивоима одржавања, пре поправке пукотине. Процена преосталог века трајања ће се повећати након прегледа и поправке пукотина.

Развој програма за одржавање конструкције садржи упутства за инспекцију сваког крана. Програм за **NDT** инспекцију се концентрише на **FCM** чланове. У исто време он указује на критичне спојеве чија хаварија би довела до катастрофалних последица. Садржи спецификацију делова конструкције које треба прегледати: да ли је детаљ критичан у случају лома или не, као и методу за лоцирање сваког дела. Препоручени интервал инспекције за **FCM** компоненте контејнерских кранова даје Кентон /Kenton и др. 2001/. Захтевани метод инспекције: визуелан, ултразвуком, магнетним флуksom, или радиографски, инспекциони интервал за сваки заварени детаљ, захтеване квалификације инспектора, захтевану процедуру за подношење извештаја, и процедуру поправки. Треба напоменути, да са старењем крана, модел пукотине постаје све више непредвидљив и фреквенција појаве пукотина расте нелинеарно (слика 6-19 и 6-20), што захтева све краћи инспекциони интервал /Jordan 1999 / Пример дела приручника **NDT** инспекције је дат на слици 6-21.



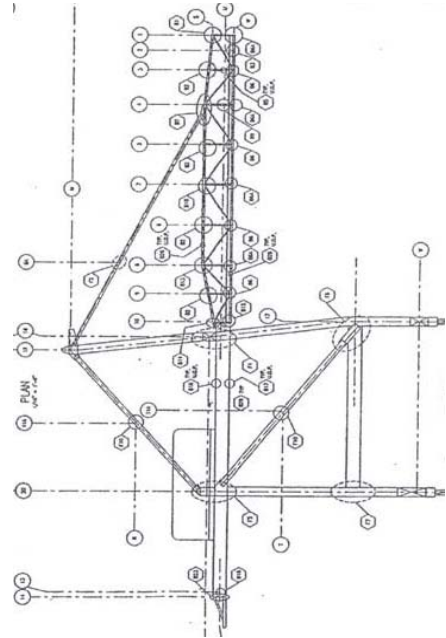
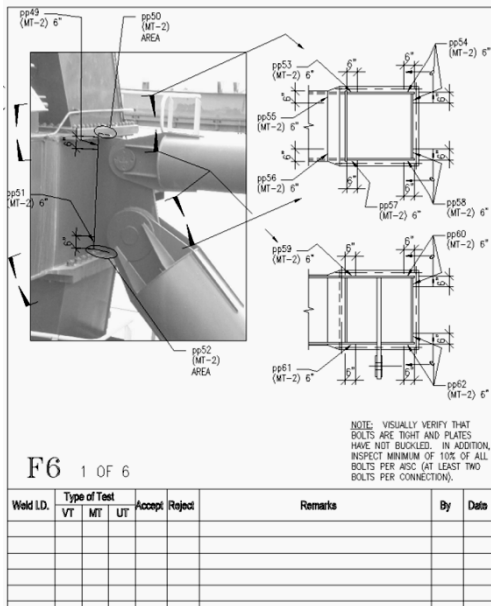
Слика 6-19. Са старењем пукотина расте нелинеарно



Слика 6-20. Пукотина - нога портала

Коначна процена корисног века крана заснована на новом нивоу одржавања **NDT**, даје стварни број пукотина које су се развиле усед замора. На основу стварног броја пукотина, израчунава се (ревидирана) поузданост и релативно кумулативно оштећење. Када се изврши поправка пукотина на конструкцији животни циклус се повећава за три до шест година.

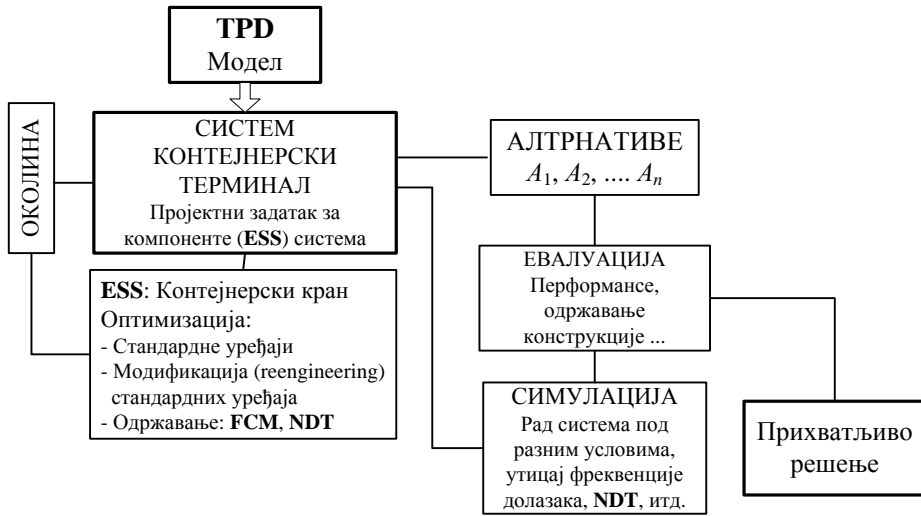
Разматрање опција о обнављању, продаји, промени локације, или продаји у старо гвожђе даје се на основу економских показатеља. Обнављање може да укључи реконструкцију или дизалица може да се премести на локацију са мањим интензитетом послова. Програм одржавања за сваки уређај омогућава **састављање производног програма** радионица за превентивно одржавање и ремонт појединих делова. Радионице треба да буду оспособљење за израду појединих позиција које треба уградити у току поправки. Такође је потребно предвидети екипе за рад на самој конструкцији.



Слика 6-21. Део приручника **NDT** инспекције са означеним локацијама за тестирање на порталном контејнерском крану /Kenton/ др. 2001, Liftech/

На слици 6-22 дат је модификован алгоритам **TPD** поступка за анализу утицаја система одржавања, посебно конструкција на функционисање, перформансе и продуктивност контејнерског терминала или великих система механизације (термоелектране, површински копови и сл.). Наведени поступак се такође, успешно примењује код **пројектовања радионица за одржавање** наведених система. Одређују се чворне тачке (**ESS**) критичних елемената система (**FCM**) и приступа се побољшању њихових перформанси, ако је изводљиво, као и повећању њиховог животног века (useful structural life) коришћењем одговарајућег одржавања. Предложена алтернативна решења симулационим моделирањем се упоређују. Наведени поступак има предност, зато што се пројектни задатак за радионицу одржавања прилагођава тренутним захтевима, односно мења се после **NTD** инспекција, при томе на основу резултата симулација моделирања могу да се формирају прогнозе будућих стања.

6. Унутрашњи транспорт



Слика 6-22. Модификован алгоритам **TPD** поступка

ЛИТЕРАТУРА

- Ajzenberg: Proektirovanie mašinstroitel'nykh zavodov, Moskva, 1961.
- ALDEP**, Automated Layout Design Program, **IBM**, 1969.
- Aleksandrov, E.A.: Osnovi teoriji eurističeskikh rešenii, Moskva, 1975.
- Appelt, G., Krampe, H.: Stuckgutlagerung, Veb Verlag Technik, Berlin, 1985.
- Apple, J.M.: Material Handling Systems Design, The Ronald Press Company, New York, 1972.
- Archer, L.B.: Systematic method for designers, Council of Industrial Design, London, 1965.
- Armour, G.C., Buffa, E.S.: A heuristic algorithm and simulation approach to relative location of facilities, Management Science 9, No. 1, 1963.
- Bank, Vehking: Intralogistik 2005, **VDMA** Verlag, Frankfurt, 2005.
- Bauer, V., Wegener, M.: Simulation, Evaluation, and Conflict Analysis in Urban Planning, **IEEE**, Vol. 63, 1975, pp. 403-413.
- Bazaraa, M.: Computerized Layout Design, **AIIE** Transaction 7, No. 4, 1975.
- Booker, P.J.: Written contribution appended to Conference on the Teaching of Engineering Design, Inst. of Eng. Designers, London, 1964.
- Buffa, E.: Operations Management, Prentice-Hall, New York, 1976.
- Churchman, C.W., Ackoff, R.L.: An Approximate measure of value, Operations Research, 2/54, 1954.
- Churchman, C.W.: The Systems Approach, Delacorte Press, New York, 1968.
- COFAD**, A new approach to computerized layout, **MMH**, April 1975.

- Cooper, B.R.: Introduction to queuing theory, North Holland, New York, 1981.
- Ćuprić, N.: Modeling input/output Zone of Automated Storage/Retrieval Systems, Dr. Sc. thesis, Faculty of Mechanical Engineering, University of Belgrade (in Serbian), Belgrade, 2003.
- Damjanović, V.: Industrijski kompleksi i zgrade, Beograd, 1972.
- David Porter /Standard ASME 1947, Operation and Flow Process Charts/.
- de Neufville, R., Stafford, J.H.: Systems Analysis for Engineers and Managers, London, 1974.
- Dean, B.V., Nishiry, M.J.: Scoring and Profitability Models for Evaluation and Selecting Engineering Projects, Operations Research, 1965.
- DIN** 55405-Begriffe für das Verpackungswesen, Deutsches Institut für Normung, Beuth-Verlag, Berlin, 1988-1993.
- Dragović, B., Zrnić, Đ., Radmilović, Z.: Ports & Container Terminals Modeling, Faculty of Transport & Traffic Engineering, University of Belgrade, Monograph, Belgrade, 2006, pp. 214.
- Egbelu, P.J.: The use of non-simulation approach in estimating vehicle requirements in an automated guided vehicle based transport system, Material flow, Vol. 4, 1987.
- Egorov, M.: Osnovi projektovanja mašinstroiteljnih zavodov, Moskva 1959.
- El Rayah, T.E., Hollier, R.H.: A Review of Plant Design Techniques, The International Journal of Production Research, Vol. 8, No. 3, 1970.
- eBusiness **GmbH** eCommerce Services in Zusammenarbeit mit Fraunhofer Institut Materialfluss und Logistik, November 2001.
- eLogistics-Facts 1.0. Market Research Service Center und Deutsche Post eCommerce **GmbH** eCommerce Services in Zusammenarbeit mit Fraunhofer Institut Materialfluss und Logistik, November 2001.
- eLogistics-Facts 1.0. Market Research Service Center und Deutsche Post Erläuterungen der wichtigsten Begriffe aus Materialfluss und Logistik, Springer, Berlin, 2011, 3. Auflage.
- FEM** propisi: Testspiele zum Leistungsvergleich und zur Abnahme von Regalförderzeugen, Demag Systemtechnik.
- Fine, W.T.: Mathematical Evaluation for Controlling Hazards, Journal of Safety Research, Vol. 3, No. 4, 1971.
- Floyd, R.W.: Algorithm 97 - Shortest Path, Comm. of Acm. 5, 1962.

Francis, L.R., White, A.J.: Facility and location, an analytical approach, Prentice Hall Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, 1974.

Frazelle, E.: Orderpicking. Part I-III, Modern Materials Handling, Vol. 45, No. 10, 11, 12, 1990.

Frazelle, E.: Orderpicking. Part IV, Modern Materials Handling, Vol. 45, No. 1, pp. 53, 1991.

Gale, B.: How we stand with Warehousing Systems, **SHD**, July 1972.

Goetschalckx, M., Ratliff, D.H.: Order picking in an aisle, **IIE** Transactions, Vol. 20, No. 1, 1988.

Gudehus, T.: Grundlagen der Kommissioniertechnik. Verlag W. Girardet, Essen, 1973.

Gudehus, T.: Logistik: Grundlagen, Strategien, Anwendungen. Springer, Berlin, Heidelberg, **NY**, 2005.

Immer, J.R.: Material Handling, McGraw-Hill Book Company, **NY**, 1953.

Jampolinskii, E.S. i dr. Proektovanie mašinstroitel'nykh zavodov i cehov, Mašinstroenie, Moskva 1974.

Jones, J.C.: Design methods, John Wiley & Sons, **NY**, Toronto, 1982.

Jones, J.C.: The Human operator in complex systems, Ergonomics 10, 2, 1967.

Jovanović, A., Zrnić, Đ.: Best Variant Solution of Cooper Ore Transport in Underground Mining (Invited session), **IFORS** 2002, Proc. of the the 16. Triennial Conference, Operational Research in a Globalized, Networked World Economy, Edinburg, Scotland, **UK**, 2002. (Rad je jedan od ukupno 6 radova koji su nagrađeni od strane žirija).

Jovanovic, A.: Optimization of Performances of the Critical Elements - Knot Points of Automatic Transport System in the Non-Ferrous Metals Mines with Underground Mining, Dissertation, Faculty of Mechanical Engineering, University of Belgrade (in Serbian), Belgrade, 2000.

Jordan, M.A.: Structural Maintenance of Dockside Container Cranes, **AAPA**, Aleksandria, Vi, 1999.

Jünemann, R.: Logistische Systeme: Automation als Erfolgsfaktor. Verlag **TÜV** Rheinland, Köln, 1988.

Jünemann, R., Schmidt, T.: Materialflußsysteme - Systemtechnische Grundlagen. 2nd edn., Springer, Berlin, Heidelberg, New York, 1999.

Jünemann, R., Kuhn, A.: Simulationsgestützte Planung von Forder-und Lagersystemen, Fraunhofer Institut für Transporttechnik und Waredistribution, Dortmund, 1987, pp. 1-23.

Kartnig, G., Grösel, B., Zrnic, N.: Past, State-of-the-Art and Future of Intralogistics in Relation to Megatrends, **FME Transactions**, Vol. 40, No. 4, 2012.

Kendall, D.G.: Stochastic processes occurring in the theory of queues and their analysis by the method of the imbedded Markov chain, *Annals of Mathematical Statistics*, 24(3) 1953, 338-354.

Kenton, L. et al.: Useful structural life assessment of dockside container cranes, *Ports '01, Norfolk, VA*, 2001.

Kleinrock, L.: *Queuing systems*, Vol. 1 and 2, John Wiley and Sons, Toronto, 1976.

Klime, M.B., Lifson, M.W.: *Systems Engineering and its Applications to the Engineering Curriculum, System Engineering*, Vol. 2, No. 1, 1975.

Kobayashi, H.: *Modeling and Analysis: An Introduction to System Performance Evaluation Methodology*, Addison-Wesley Publ. Comp., London, 1978.

Kosanić, N.: Contribution to defining flexible transport systems performances and their components, Dr. Sc. thesis, Faculty of Mechanical Engineering, University of Belgrade (in Serbian), Belgrade, 1999.

Kunder, R.: Kommissionierstrategien in Flach - und Hochregallagern, *F+H*, 26, No. 4., pp. 321, 1976.

Lange, V., Brachetti, C.: *Mehrweg-Transport-Systeme*. Verlag Praxiswissen, Dortmund, 1997.

Lavroš, V.: Prilog projektovanju skladišta za pripremu robe za distribuciju, Magistarska teza, Univerzitet u Beogradu, Mašinski fakultet, 1997.

Lee, A.M., Longton, P.A.: Queueing processes associated with airline passenger check-in, *Operational Research Quarterly*, 10 (1) 1959, 56-71.

Luchman, J.: An approach to the management of design, *Operat. Res. Quart.* 18, No. 4, 1967.

Mallick, R.W., Gaudreau, A.T.: *Plant Layout*, Chapman and Hall, London, 1951.

Mallick, R.W.: *Plant Layout: Planning and Practice*, John Wiley and Sons, NY, 1951.

Mannheim, M.L.: Problem solving processes in planning and design, Dept. of C. Eng., MIT, Cambr., Mass., 1967.

Maynard, H.B.: *Industrijski inženjering*, knjiga IV, Beograd, 1975.

Mertens, P.: Integration bei der automatisierten Datenverarbeitung 1966, preuzeto iz Gudehus 1973.

Mesarović, M.D., Takahara, Y.: General System Theory: Mathematical Foundations, Academic Press, **NY**, 1975.

Miebach, J.R.: Die Grundlagen einer Systembezogenen Planung von Stuckgutlager, D.F., Weter, 1971.

Mogensen, A.: The standard work-simplification, in Muther **SLP**, Boston, 1961.

Moor, J.M., Lindguist, R.N.: **CORELAP**, User's Manual, Boston, 1967.

Moor, J.M.: Plant Layout and Design, Macmillan, **NY**, 1962.

Muther, R.: Systematic Layout Planing, Boston, Massachusetts, 1974.

Neufert, E.: Bau Entwurfslehre, Berlin, 1962, 1978, 2012.

Optner, S.L.: System analysis, Pengun, Modern Management Readings, Baltimore, 1973.

Popović, D.: Fabrička postrojenja, Mašinski fakultet, Beograd, 1962.

Pritisker, A.B.: The **GASP** Simulation Language, Willey and Sons, **NY**, 1974.

Recent trends in flexible manufacturing, **UN**, 1986.

Reswick, J.B. : Prospectus for Engineering Design Centre, Institut of Technology, Cleveland, 1965.

Sage, A.P.: Systems Engineering: Methodology and Application, **IEEE** Pres, New York, 1979.

Schmalor, R.: Industrie bauplanung, Werner-Verlag, Dusseldorf, 1971.

Scholarpedia, Swarm intelligence, 2014.

Sydney, F.L.: A new Methodology for the Hierarchical Grouping of Related Elements of a Problem, **IEEE** Trans. Syst. Man. Cybern., Vol. SMC2, 1972, pp. 23-29.

Taha, H.A.: Operations research - an introduction, Sixth edition, Prentice-Hall Inc., 1976 i 1997.

ten Hompel, M., Heidenblut, V.: Taschenlexikon Logistik: Abkürzungen, Definitionen und Erläuterungen der wichtigsten Begriffe aus Materialfluss und Logistik, Springer, Berlin, 2011.

ten Hompel, M., Kamagaew, A.: 20. Deutscher Materialfluss-Kongress: Zellulare Intralogistik - In Zukunft nur noch Multishuttles, 2011.

ten Hompel, M., Schmidt, T.: Warehouse Management, Automation and Organisation of Warehouse and Order Picking Systems, Springer-Verlag, Berlin, 2007.

The **FMS** Magazine, April 1984.

The Logistics Handbook: A Practical Guide for the Supply Chain Management of Health Commodities, **USAID**, 2011.

Theml, H.: Kommissionieren in Hochregallagern, F+H, 22, No. 5, pp. 219, 1972.

Time - Sever standards, New York, 1954.

Tomkins, J.A.: Safety and facilities design, Industrial Engineering, Vol. 8, No. 1, 1976.

Tomović, T., Karlplus, W.: Ograničenja formalne teorije upravljanja sistemima, **UB** Monographs 13, Beograd, 1979.

VDI 3968 Blatt 1-6 - Sicherung von Ladeeinheiten. Verein Deutscher Ingenieure, Beuth-Verlag, Berlin, 1994.

Weigel, V.: Bewertung von Materialflusssystemen, Materialfluss systeme (Bahke, E.), Krausskopf, Main 1974.

White, J.A., Schmidt, J.W., Bennett, G.K.: Analysis of Queueing Systems, Academic Press, **NY**, 1975.

Wikipedia, Logistika, 2013.

Wikipedia, Upravljanje lancem snabdevanja, 2013.

Wikipedia, Multi-agent system, 2015.

Wikipedia, Internet of Things, 2016.

Wikipedia, Swarm intelligence, 2016.

Worfield, J.N.: Structuring Complex Systems, Battelle Memorial Institute, Columbus, Ohio, **USA**, 1974.

Zangemeister, C.: Nutzwertanalyse in der Systemtechnik, Wittemannsche Buchhandlung, Munchen, 1976.

Zangemeister, C.: Nutzwertanalyse von Projektalternativen, Indutrelle Organisation, 40/71, No. 4, 1971.

Zollinger, H.: How to Shop for **AS/RS** and **VNA** Systems. Material Handling Management, 2001.

Zrnić, Đ.: Izbor optimalnog transportnog sistema u procesu uskladištenja komadnih materijala u paletnim skladištima, Disertacija, Mašinski fakultet Univerziteta u Beogradu, Beograd, 1978.

Zrnic, Dj.: A method for planning materials handling system in warehousing, Proc. of the 3rd Internat. Conference on Automation in Warehousing, **IFS** (Conferences) Ltd., Chicago, **USA**, 1979.

Zrnić, Đ.: A Method of Planning Materials Handling System in Warehousing, Proceedings of the **ICAW**, Vol. 3, No. 2, **IFS** (Publications), 1980, pp. 333-348.

Zrnić, Đ.: Idejno tehnološki projekat skladišta repromaterijala i gotovih proizvoda, Mašinski fakultet u Beogradu, za Krušik Valjevo, Beograd, 1981a.

Zrnić, Đ.: Idejno tehnološki projekat skladišta hemikalija, Mašinski fakultet, za Krušik Valjevo, Beograd, 1981b.

Zrnić, Đ., Prokić, M.: Projekat i konstrukcija postrojenja za regeneraciju peska SHELL-MOULDING, kapaciteta 1,25 t/h, rađeno za livnicu "Beograd" - Nova livnica Ralja, Mašinski fakultet, Beograd, 1982.

Zrnić, Đ., Veličković, Ž.: Mašinsko tehnološki projekat radionice za pripremu materijala, mašinsku obradu i održavanje opreme i alata, rađeno za **GIO** Napredak, Vrbas, Beograd, 1983.

Zrnić, Đ., Pavlović, M., Kovačević, B., Murar, I., Frkanec, M., Perušinović, B.: Glavni mašinsko tehnološki projekat fabrike za proizvodnju poljoprivrednih i kamionskih prikolica za Rusiju - zavarivanje sklopova, površinska zaštita, montaža, rađeno za **GIO** Napredak, Vrbas, Beograd, 1983/84.

Zrnić, Đ.: Centralno skladište za čuvanje komponenti i gotove robe, rađeno za Vrbas, Mašinski fakultet, Beograd, 1984.

Zrnić, Đ. i dr.: Tehno-ekonomska studija transportno manipulativnog sistema unutar Metalurškog kombinata Smederevo, Institut za ekonomiku saobraćaja, **CIP**, Mašinski fakultet, Beograd, 1985.

Zrnić, Đ.: Design of a Bulk Cargo Terminal System for a Steel Works, using Simulation Modeling, Proc. 1st Int. Congress **IEM**, Tome 2, Paris, 1986, pp. 599-608 (uvodno predavanje po pozivu).

Zrnić, Đ., Savić, D.: Simulacija procesa unutrašnjeg transporta, III izdanje Mašinski fakultet, Beograd, 1990.

Zrnić, Đ., Tasovac, B.: **HiCraft** - Program za razmještaj opreme i prostora, Ver 1.0, Zbornik radova, Naučno-stručni skup "Transport u industriji", Mašinski fakultet - Institut za mehanizaciju, Beograd, 1992.

Zrnić, Đ., Čuprić, N., Radenković, B.: A Study of material flow systems (input/output) in high bay warehouses, International Journal of Production Research, Vol. 30, No. 9, 1992, pp. 2137-2149.

Zrnić, Đ.: Projektovanje fabrika, Univerzitet u Beogradu, Mašinski fakultet, Beograd, 1993, str. 498.

Zrnić, Đ.: Development of modern methods for material handling system design, In: Mechanical Engineering for the 21st century, Monograph, University of Novi Sad, FTN, Novi Sad, 1995, pp. 491-513.

Zrnić, Dj.: Some problems of modelling the complex transportation and storage systems, Scientific review, Number 15, Serbian Scientific Society, Belgrade, 1996a, pp. 107-124.

Zrnić, Đ.: Einige Probleme in Modellierung von Komplexen Fordersysteme, 9. Euroraische Konferenz Fordertechnik Professoren, Goteborg, 1996b, pp. 3.1-3.12 (uvodno predavanje po pozivu).

Zrnić, Đ.: Uticaj modeliranja transportnih sistema na performanse nekih elemenata sistema i razvoj njihove konstrukcije, Naučni skup "Mehanika, materijali i konstrukcije", SANU, knjiga LXXXIII, Odeljenje tehničkih nauka, knjiga 2, Beograd, 1996c, str. 575-586.

Zrnić, Đ., Kosanić, N.: Metode optimizacije u projektovanju, Mašinski fakultet, Beograd, 1996, str. 133.

Zrnić, Đ., Savić, D.: Simulacija procesa unutrašnjeg transporta, IV izdanje, Beograd, 1997, str. 247.

Zrnić, Dj.: Some problems of modelling the complex material flow system, In: Manufacturing Systems: Modelling, Management and Control, Ed. by P. Kopacek, PERGAMON - Elsevier Science, 1997, pp. 429-434.

Zrnić, Dj., Jovanovic, A.: Total Performance Design (TPD) for Ore Transportation System, In: Large Scale Systems: Theory and Application, Ed. by N. Koussoulas and P. Groumpos, PERGAMON - Elsevier Science, 1999, pp. 307-312.

Zrnić, Đ., Dragović, B., Radmilović, Z.: Anchorage-Ship-Berth Link as Multiple Server Queing System, Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering, Vol. 125, No. 5, Sept./Oct., ASCE, 1999, pp. 232-240.

Zrnić, Đ.: Large Scale Systems and Total Performance Design, International Journal of Industrial Systems, Vol. 3, No. 1, 2000.

Zrnić, Đ., Kosanić, N.: Some Problems of Flexible Transportation System Design, Proc. of the Miskolczer Gesprache 2001, Vol. 10, Die neunsten Ergebnisse auf dem Gebiet Fordertechnik und Logistic, Ed. by J. Cselenyi, Miskolc, Hungary, 2001, pp. 25-32 (predavanje po pozivu).

Zrnić, Đ., Ličina, S., Perišić, Ž., Pakvor, A., Kosanić, N., Nikolić, D., Muškatirović, D.: Idejni projekat logističkog centra BETRA i BETRATRANS u Zemunu, Beograd, 2001 (prva nagrada na konkursu od 27 ponuđenih rešenja).

Zrnić, Đ., Kosanić, N., Ćuprić, N., Zrnić, N.: Total performance design of transportation systems, Proceedings of International Conference on Industrial

Systems, "IS 2002", pp. 164-171, Institut za industrijsko inženjerstvo i menadžment FTN Novi Sad, Vrnjacka Banja, November 22-23, 2002.

Zrnić, Đ.: Veliki sistemi mehanizacije i projektovanje ukupnih performansi, **ИПП**, br. 2, 2003, str. 15-23.

Zrnić, Đ.: Neki problemi u projektovanju pogona za održavanje velikih sistema, Zbornik: Naučno-stručni skup o održavanju mašina i opreme, **ИПП** i Mašinski fakultet u Beogradu, Banja Vrujci, 2004, str. 113-124.

Zrnić, Dj.: Influence of Maintenance on the Performances of Large Scale Systems, Heavy Machinery, Kraljevo, 2005.