

**УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ
МАШИНСКИ ФАКУЛТЕТ**

БОРЉЕ ЗРНИЋ

**ФАБРИЧКА ПОСТРОЈЕЊА
И ТЕХНИЧКА ЛОГИСТИКА**

БЕОГРАД, 2016.

**УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ
МАШИНСКИ ФАКУЛТЕТ**

БОРЂЕ 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.

Својој супрузи
Љиљани

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 отпашивање, 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-a	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 отпрашивање	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, JIT	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

1. УВОД

1.1. Циљ пројектовања

Пројектовање је средство помоћу кога се постиже одређени циљ и представља полазну карику у низу активности које доводе до израде одређеног производа или објекта. Пројектовање је прва и основна етапа инвестиционе изградње којом се обезбеђује изградња нових и реконструкција постојећих индустријских објеката.

Пројектовање индустријских објеката представља сложени процес у коме се решавају многа различита питања техничко-технолошког, организационог и економског карактера. Основни циљ пројектовања је изградња/реконструкција објеката који треба да задовоље све услове и захтеве постављене од инвеститора, а да се при томе да савремено техничко решење које задовољава економске показатеље и обезбеди израда високо квалитетних производа или услуга.

Задатак пројектаната (тимски рад) је да на основу граница које диктирају техничко-технолошки и економски услови реше повољно функционисање датог процеса и да омогуће производњу дефинисану пројектним задатком. Проблеме у пројектовању треба решавати комплексно тако да је тим који ради на овим пословима састављен од стручњака разних специјалности.

1.2. Пројектовање у савременој пракси

Пројектовање је сложена делатност чији успех зависи од правилног коришћења знања математике, струке, умешности и искуства. Потребно је

напоменути, да је мала вероватноћа да се постигне успех идентификацијом пројектовања само са једним од њих.

Математика разматра свет односа који није везан за календарско време. Сваки задатак који може да се постави у облику симбола прихвата се као такав. За математичара задатак постоји од момента када је постављен и потребно је логичким путем наћи његово решење. Решење, које може да буде изражено у апстрактним симболима, обавезно мора да буде апсолутно тачно.

Потреба савремене праксе је да се објасни суштина пројектовања и да се изложи у виду неког стандардног поступка. По дефиницији пројектовање се може да окарактерише као:

- Делатност са одређеним циљем решавања задатака¹.
- Моделирање предпостављених дејстава до њиховог остваривања².
- Остваривање веома сложеног чина интуиције³.
- Надахнути скок (пун инспирације) од садашњих чињеница ка будућим могућностима⁴.
- Стваралачка делатност која изазива нешто ново и корисно што раније није постојало⁵.

У литератури се најчешће говори о редоследу пројектовања, методама и садржају пројекта, а мало о резултатима пројектовања. Да би се нашла поуздана основа за размишљање, треба покушати да се пројектовање дефинише не на основу кретања самог процеса, већ према његовим резултатима.

Циљ пројектанта традиционалног типа је да изради цртеже са пратећом документацијом, које треба да одобри инвеститор. При том презентирана документација даје неопходне податке извођачу.

Пројектант треба да предвиди коначни резултат остваривања свог пројекта и да одреди неопходне критеријуме за достизање тражених резултата. Главна тешкоћа је да пројектант предвиди на основу датих података неко будуће стање, које ће да настане само ако су верне прогнозе, тако да је пројектант принуђен да истражује догађаје обрнутим редоследом. Често у појединим фазама пројектовања се јављају напредвиђене тешкоће или се откривају нове повољније могућности (тражење оригиналнијег решења). При томе карактер почетних проблема може да се коренито измени и да се пројектант врати на

¹ Archer, L. B.: Systematic method for designers, Council of Industrial Design, London 1965.

² Booker, P. J.: Written contribution appended to Conference on the Teaching of Engineering Design, Inst. of Eng. Designers, London 1964.

³ Jones, J. C.: The design method, Butterworth's, London 1966.

⁴ Page, J. K.: Contribution to building for people, conf. RMPBW, London 1966.

⁵ Reswick, J. B.: Prospectus for Engineering Design Centre, Institut of Technology, Cleveland 1965.

почетак. Та нестабилност самог пројектног задатка даје процесу пројектовања веома сложени карактер.

Пројектант, да би могао да предвиди будуће, мора у знатној мери да буде упознат са постојећим стањем и при том мора да уме да постави експеримент (сними постојеће стање) и да проанализира његове резултате.

Сложени део разраде пројекта обухвата низ истраживања везаних за промену формулације задатка. Посебан проблем у пројектовању је када из низа алтернатива треба изабрати најповољнију, односно решење које треба да се реализује. При томе је неопходно имати материјал који представља облик решења (цртежи, прорачуни итд.).

У етапи када се стабилизује задатак, да би се разрешиле противуречности између циља и средстава, није потребно мењати почетне претпоставке. Математичке методе, када су претпоставке изражене, апстрактним симболима и када се манипулише тим симболима док се не дође до решења, повољне су за оптимизацију, тј. за налажење најбољег решења када је задатак већ одређен. Када пројектни задатак може да се постави у математичким симболима решење може да се добије и на рачунару.

Главни инструмент традиционалног пројектанта је цртеж у размери. Цртеж се посматра као модел који је могуће лако мењати при тражењу најповољнијег решења, значи модел који лако подлеже изменама и при томе може да сачува једно решење, док се друго разматра. Потребно је напоменути да цртеж ретко скраћује утрошено време на избор прихватљиве варијанте када је велики број расположивих варијанти и доводи до правог решења. То произилази из тога што пројектант често игнорише широко поље истраживања и сконцентрише пажњу само на мањи део где могу да се очекују прихватљива решења. Када пројектант са решавања унутрашњих веза пређе на утицаје који су ван датог система цртеж је често бескористан, тако да мора да се приступи моделирању, прорачунима и испитивању параметара који највише утичу на рад система.

Да би се процениле добре и лоше стране традиционалних метода пројектовања потребно је одговорити на нека принципијелна питања:

- Како се решавају сложени задаци при коришћењу класичних метода пројектовања?
- Колико су савремене методе сложеније?
- Која ограничења утичу на савремене методе пројектовања?
- Зашто се сложеност савремених задатака показала тешком за традиционални процес пројектовања?

У почетној фази пројектовања присутан је дуги период тражења оригиналног решења (прикупљање и анализа информација) и често се губи доста времена у решавању тривијалних задатака. При томе појављивање оригиналне идеје често се јавља неочекивано и носи карактер измене формулације пројектног задатка. Као резултат такве трансформације сложени задатак често постаје једноставан.

Процес измене структуре пројектног задатка је заснован на коришћењу графоаналитичких метода и скица које избацују у први план најважније стране пројекта. За превазилажење тешкоћа и решавање конфликта неопходно је да пројектант може довољно дубоко и тачно да расуђује о томе како се мења формулација пројектног задатка при уношењу ових или оних битних промена и да никакве субјективне или објективне претпоставке не утичу на процес решавања. Анализа процеса пројектовања коришћењем само цртежа и опште прихваћене представе о процесу стваралачог мишљења, показује да се традиционални начин решавања сложених задатака састоји у томе да се у сваком моменту разматра само једна концепција целине. Када таква стратегија упрошћавања не доводи до задовољавајућег резултата, пројектант мења концепцију дату у цртежима и замењује је новом која може коренито да се разликује од претходне. Пројектно решење је осетљиво на крупне измене концепције тако да је потребан период прикупљања нових података и стварања идеје да би се у мозгу створио тачан модел тога, и да се утврди како промене могу да утичу на решење.

Посебно се наглашава да је бесмислено разматрати пројектовање само као задовољавање постојећих потреба, зато што се стварају нове потребе, а старе нестају. Тако да задатак пројектовања се не састоји само у повећању стабилности (уравнотежавања потрошње и производње), већ се састоји у прихватању вредности које одређују правац развика дате средине односно планирање на основу тога шта ће да се оствари сутра. Ово утиче на смањење стабилности пројектног задатка и самим тим повећање његове сложености.

У реалним условима савременог пројектовања сусрећемо се са низом допунских усложњавања са којима се раније пројектант није сусретао. Најтеже у пројектовању је савлађивање сложености истраживања у широком спектру различитих комбинација појединих елемената и подсистема¹. При коришћењу традиционалних метода пројектовања низ комбинација се искључује из разматрања.

Избор решења даје човек добро информисан са искуством и флексибилан у размишљању. Овај метод понекад даје добре резултате на нивоу (решавања) појединих делова пројекта или подсистема (код главног пројекта) међутим

¹ Задаци пројектовања система (тј. веза и односа између елемената и подсистема, утицај околине на рад система итд.)

његова погодност за добијање решења на нивоу система је крајње неизвесна. Присутне су тешкоће при коришћењу традиционалних метода у пројектовању зато што је пројектант система често лишен могућности да сконцентрише своје интересовање на једном делу пројекта, а ако разматра поједине делове често блокира могућност сагледавања решавања на нивоу система.

Тешкоће које настају при решавању савремених задатака су следеће: пространство из којег добијамо информације о новим системима је велико тако да је потребно да се стваралачко мишљење пројектанта базира на дубоким теоретским и практичним знањима на свим нивоима од опште концепције до реализације пројекта. Такође је неопходно развити методе које би обезбедиле довољан обим информација (базе података, интернет) за доношење решења на сваком нивоу разраде пројекта.

Предмет савремених метода није само пројектовање у опште прихваћеном смислу речи, колико начин размишљања и приступ који претходи изради пројекта. Поставља се питање шта је опште код свих ових метода пројектовања. Све те методе су направљене тако да приморају пројектанта да "мисли наглас" /Jones 1982/, да дозволи другим људима да се упознају са процесом мишљења који је проистекао у његовој глави, да би се објективирао процес пројектовања.

У једном случају то се постиже речима, а у другом помоћу математичких симбола, али при томе се увек користи неки поступак који дозвољава да се задатак пројектовања подели на делове и да укаже на међусобне везе између појединих делова. Природно је да у основи увек лежи стремљење да се добије боља контрола над процесом пројектовања, посебно на нивоу система. Основно преимућство тако замишљеног пројектовања је да други учесници тима и корисници могу да прате догађаје и учествују у њима, саопштавајући пројектанту информације и оцене, које излазе из граница његовог сазнања. Поставља се питање каква је практична корист од тих метода и колико користе стваралаштву, колико су логичне и колико се дозвољава управљање процесом пројектовања. Сваки од наведених аспеката могуће је симболички представити у облику неког кибернетског модела пројектовања. Са гледишта истраживања, стваралаштва пројектант представља "црну кутију", на чијем излазу се појављује стваралачка идеја. Са гледишта логике пројектант је кутија у којој се дешава логички процес. Са гледишта управљања пројектант је систем са повратном спрегом /Jones 1982/.

1.3. Основни приступ пројектовању

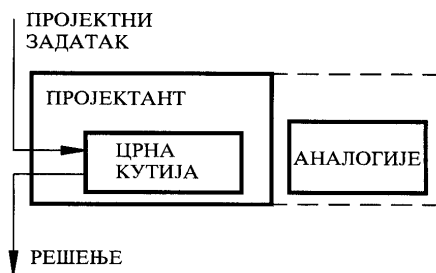
Многи ауторитети сматрају да се најважнији део процеса пројектовања дешава у глави пројектанта. Мозак је способан да разреши противуречности између различитих сигнала (тј. да реши задатак) таквим претстројавањем своје структуре да она одговара како текућим улазним сигнаlima, тако и многим раније добијеним сигнаlima које је меморисао. При томе треба напоменути да је главни непријатељ стваралачког мишљења нефлексибилност размишљања односно стремљење ка некој одређености.

Ако се човек посматра као "црна кутија" предпоставља се да уклањање филтера на улазу повећава број улазних сигнала иако им не повећава квалитет. Одавде се закључује да у почетној етапи пројектовања, када структура задатка још није јасна и није подвргнута трансформацији, знатно се повећава брзина генерисања података, који се односе на тај задатак. Резултате дејства мозга целисходно је увести у "црну кутију", човека, поручивши му да класификује све случајне идеје, свodeћи их на складну структуру /Jones 1982/. Код "црне кутије" за претварање улазног сигнала у излазни користе се одређене аналогije (слика 1-1).

У већини случајева методе пројектовања имају за циљ објективирање процеса и резултата мишљења, тако да оне произилазе из логичких претпоставки. Сматра се да процес пројектовања може да буде разјашњен до краја када пројектанти могу да образложе свако од предложених решења. Аутори метода пројектовања полазе од тога да пројектанти увек у потпуности постају свесни свог деловања и његових узрока.

Логично понашање пројектанта подсећа на рад рачунара: користи само информације које су унешене и делује по задатој шеми, спровodeћи анализу, синтезу и оцену и при томе понавља циклус док не нађе најбоље од свих могућих решења (слика 1-2). Таква претпоставка је несумњиво оправдана у случају оптимизације променљивих у добро познатој ситуацији пројектовања. Ова метода се карактерише следећим:

- циљеви, критеријуми, ограничења и променљиве се задају раније,
- тражењу решења претходи спровођење анализе, оцена резултата заснована је на логици, и
- стратегија се раније фиксира (обично се користе консеквентни поступци, али се понекада укључују и паралелне, условно и цикличне операције).



Слика 1-1. Пројектант "црна кутија"



Слика 1-2. Логичко понашање пројектанта

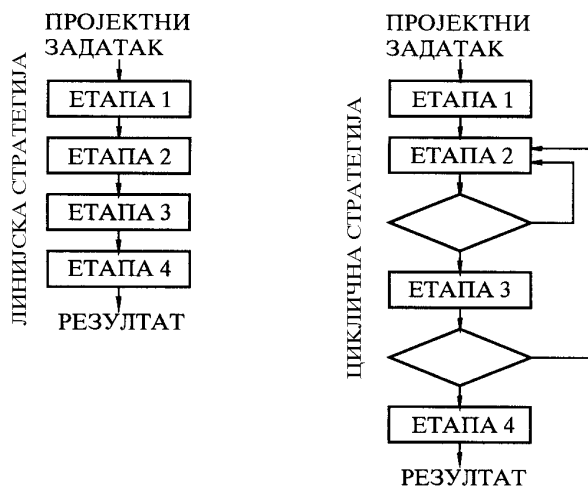
Ограничења која се методом намећу пројектанту могу да буду оправдана и неоправдана. Метода има често предности у односу на претходну, али је пројектант ипак некада принуђен да се врати методи "црне кутије". Примена ове методе омогућава рашчлањивање задатка на поједине делове који могу притом да се решавају консеквентно или паралелно. Када је задатак рашчлањен, решењу сваког делимичног подзадатка могуће је посветити више пажње, што доводи до знатног смањења рока пројектовања. Задаци пројектовања могу се у појединим етапама рашчланити, тако да рад може да се подели између више пројектаната.

Код система у којима се свака функција испуњава посебним блоком, а сваки блок је везан са другим блоковима само раније задатим улазним и излазним величинама, сва улазна и излазна дејства у систему могуће је задати од самог почетка а затим при разради сматрати да ако блок има улазне и излазне карактеристике може да се укључи у систем. Функције су једнозначно везане за различите физички одвојене блокове (чворне тачке). Мала одступања од задатих улазних и излазних карактеристика и компромисна решења у односу блокова не изазивају знатно нарушавање задате консеквентности у раду. При решавању задатака који се понављају могуће је аутоматизовати процес пројектовања.

Многи задаци пројектовања не могу да се расчлане, обично када функције нису везане за специјализоване блокове, већ су сложене и распоређене по целом објекту, онда обично руководиоца пројекта преузима пуну одговорност за доношење решења, од почетка поставља основне делимичне задатке, а потом одређује општу шему система и расподељује рад међу сарадницима. Јасно је да се овде користи метод "црне кутије". Када постоји велики ризик због скувих грешака као последица пројектовања показало се неизбежним извођење експеримента (нпр. симулације). Овде су обе методе недовољне, и потребни су нови поступци који би обухватили предност оба прилаза.

Јасно је, да основни циљ методологије пројектовања је смањење цикличности и повећање линеарности (слика 1-3). Постојање цикличности

претпоставља да важни делимични задаци остају непримећени све до каснијих етапа рада, а када се они открију потребно је прегледати решења постављена у пројекту, и по потреби извршити прекрајање пројекта. Линеарност претпоставља да се сви важнији проблеми могу да открију у самом почетку, тако да се у каснијим етапама повећано утрошено време рада исплати. На потпуну линеаризацију сваке разраде утичу предвиђене зависности између појединих делова задатка. Шема зависности између подпроблема једног задатка има непостојани карактер и налази се у зависности од избора делимичних решења сваког подпроблема /Luchman 1967/.



Слика 1-3. Линијска и циклична стратегија

У таквим случајевима структура задатка остаје нестабилна све дотле док не буду донета принципијелна решења за пројекат. Зато је неоправдан покушај специјалиста који се баве теоријом решења, да налазе решење задатка пројектовања једнократним пролазом по таквој линијској консеквентности која обухвата:

- дефинисање свих битних променљивих,
- одређивање зависности између њих, и
- обезбеђивање оптималних вредности излазних параметара.

Већ сам процес дефинисања променљивих (где улази и одређивање циљева и критеријума), очевидно представља једно од тежих питања пројектовања. Његова тежина је у томе, што је циљ пројектовања да се у постојеће стање уведу нови облици који би на овај или онај начин служили његовом усавршавању. Процена о томе у чему се састоји усавршавање, у првој фази може да буде често произвољна и субјективна. После истраживања могућих остварења појединих алтернатива могуће је довољно прецизно одредити циљеве, критеријуме и структуру задатка. Најважнија предност методе

логичких поступака је што дозвољава аутоматизацију пројектовања, а последица је и убрзавање операција пројектовања које се вишеструко понављају.

Основни недостатак ове методе је да пројектант производи велики скуп неистражених алтернатива. Он не може да интуитивно изврши избор на принципу "црне кутије", зато што при томе поново настају ограничења која остављају траг прошлих опита, а он настоји да то избегне. У исто време он је лишен могућности да убрза и аутоматизује истраживање помоћу рачунара зато што је за састављање програма неопходно дефинисати циљеве и критеријуме избора, а они сами често зависе од наведених варијанти. Зато је пројектант принуђен да:

- напусти коришћење савремених метода,
- произвољно (на принципу "црне кутије") да изабере циљеве за истраживање на компјутеру,
- утроши много времена због свестраног оцењивања сваке поједине варијанте.

Излаз из дилеме везане за обиље новог материјала и неопходности да се одједном оцени у целом, може да пружи раздвајање рада пројектанта на два дела:

- истраживање одговарајућих пројеката и изведених решења, и
- контрола и оцена поступка (редоследа) истраживања (управљање стратегијом).

То даје могућност да се уместо слепог претраживања свих варијанти примени свесно истраживање и нађе краћи пут анализе низа варијанти користећи како спољне критеријуме, тако и резултате делимичног истраживања. Наведене методе примењујемо у том случају, ако функција управљања стратегијом обезбеђује стварање одговарајућег модела као стратегије истраживања која задовољава пројектно решење. Модел (стратегија + циљ) има за циљ да представи сваком члану пројектантског тима, могућност да сам одреди, колико изабрани поступак истраживања може да доведе до прихватљиве равнотеже између новог пројекта, ситуације на коју он утиче и оцене разраде. Потребно је прво описати зависност између стратегије и пројектне ситуације, и друго, посредством тог начина се спроводи оцена модела која дозвољава предсказивање вероватних резултата алтернативних стратегија, с тим што би било могуће изабрати најперспективнију од њих. При томе могу да се јаве следећи недостаци: модел се тешко мења саобразно са информацијама које се појављују у процесу и он не обезбеђује могућност честих и радикалних измена стратегије у случају када се открију грубе грешке у претпоставкама добијеним моделом. Од поступка управљања стратегијом

прво се тражи да дозволи повезивање резултата сваког дела истраживања са крајњим циљем, чак и ако, како то често бива, ти циљеви још нису одређени. Да би таква оцена постала могућа, потребно је показати колико исход сваког степена у стратегији пројектовања одговара или не, жељеним резултатима целокупне стратегије.

Основна слабост ма ког метода пројектовања је у тешкоћи управљања стратегијом при решавању нетривијалних задатака пројектовања, а посебно када учествује више пројектаната. Очевидно је да треба створити поуздане методе разраде стратегије и управљања њима.

Савремени процес пројектовања треба да буде ефикасан на ма ком нивоу општости или детаљизације. Пројектантска делатност на нивоу система представља слободу радикалне измене не само компонената из којих се састоји подсистем него и типова подсистема. Облици мисаоне делатности, које су пројектанти навикли да зову својим прерогативима треба да буду објективирани да би више људи (укључујући инвеститоре) могли да предложе своје идеје у почетној фази разраде и да учествују у доношењу принципских решења. Објективирање мишљења пројектанта је нужно и за аутоматизацију процеса пројектовања, тј. за примену компјутера у решавању етапа процеса пројектовања, за које решење мисаоних задатака може да се представи у виду програма за рачунар. Дају се шеме, блок дијаграми, матрице, графови и алгоритми.

Графичко приказивање веза може се разматрати као покушај налажења суштине система, али мање детаљизовано од цртежа у размери (приказивање сложености пројектовања на нивоу система). Постављање матрице међузависности¹ је корисно када њени елементи и односи могу да корелирају са физичком суштином, и када могу да буду измерени или реализовани, да све што је приказано мрежом (слика 1-4а, 1-4б) може и да се оствари. Посебно је тешко разликовати реалну од нереалне мреже и решити које променљиве треба да буду укључене у њу.

Пројектовање би био линијски процес само када не би излазни подаци били непотпуни и непоуздани. Поставља се питање да ли постоји веза између интуитивних метода са једне стране и логичких метода са друге. У вези са тим поставља се питање да ли се постојеће методе могу да сматрају алтернативним начинима пројектовања или раздвојеним елементима које је могуће објединити у јединствену стратегију пројектовања. На оба питања могуће је дати одговор: ни једна од предходних метода пројектовања не појављује се као коначна, како изгледа на први поглед и при решавању ма ког задатка пројектовања, неопходно је одређено спајање логике и интуиције.

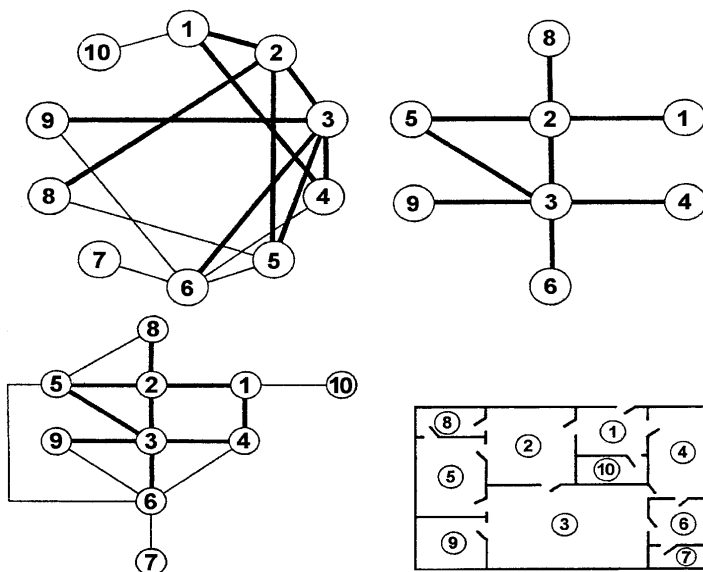
¹ Матрица међузависности од - до (поступак: одређују се елементи и међузависности, одређује се степен међузависности између сваког пара елемената). За одређивање шеме веза користи се граф међузависности (поступак: користи се матрица међузависности. Црта се граф где чворне тачке представљају поједине елементе, а линије везу између елемената. Изменом положаја тачака смањује се број пресека линија (слика 1-4б).

Начин спајања интуитивног са рационалним није успостављен и није га могуће у општем облику приказати одвајајући га од конкретног задатка и конкретног човека, с тим што зависи од количине објективних информација којим располаже пројектант, његових квалификација и искуства /Jones 1982/.

Не постоји општа метода за обједињавање поступка пројектовања зато што се мало зна о понашању пројектанта и о решавању задатака пројектовања. Можемо се бавити класификацијама и општим расуђивањем у нади да ћемо лакше схватити зашто је тако тешко разрадити и објаснити ефикасну стратегију пројектовања у којој би се спојиле логичке и интуитивне методе. Треба напоменути да се коришћење интуиције ограничава само на почетни стадијум рада, узимајући у обзир сву неопредељеност која претходи развоју нових система.

до од	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	x	2	0	2	0	0	0	0	0	1
2		x	2	0	2	0	0	2	0	0
3			x	2	2	2	0	0	2	0
4				x	0	1	0	0	0	0
5					x	1	0	1	0	0
6						x	1	0	1	0
7							x	0	0	0
8								x	0	0
9									x	0
10										x

Слика 1-4а. Матрица и граф међузависности



Слика 1-4б. Матрица и граф међузависности

1.4. Пројектовање као логички процес

Пројектовање као логички процес обухвата три етапе:

- анализу проблема
- синтезу, и
- оцену (вредновање) алтернативних решења.

Ове етапе се појављују вишеструко (најчешће у другој и трећој фази пројектовања) и при томе се сваки следећи циклус разликује од претходног мањим степеном општости и већом детаљизацијом. Три фазе пројектовања Jones /Jones 1982/, назива "дивергенција, трансформација и конвергенција".

Прва фаза обухвата проширивање граница пројектног задатка у циљу обезбеђивања довољно информација за истраживање решења. Ову фазу рада карактерише следеће:

- пројектни задатак, добијен од наручиоца је полазна тачка истраживања, при томе се сматра да задатак може да претрпи измене (уз сагласност наручиоца),
- циљеви су нестабилни и условни,
- границе задатака су нестабилне и недовољно одређене,
- разматрају се сви утицаји који могу да утичу на решење задатка,
- задатак пројектаната је да се ослободи, од раније задатих решења, у измени стратегије мисаоне делатности, на основу масе података који се односе на решење задатка,
- један од циљева истраживања је и да се проучи реакција наручиоца, корисника, на постављање циљева и граница задатка.

Ова истраживања могу да се посматрају као провера стабилности свега што се односи на решење проблема. Доношење поједних решења треба одлагати до следеће фазе, када пројектант буде довољно упознат са свим што је везано за пројектни задатак. Потребно је напоменути да рад у овој фази укључује како логичка тако и интуитивна дејства.

У **првој фази** се користе следеће методе:

1. Истраживање литературе (интернета) и формирање датотеке значајних података и корисних докумената.
2. Интервјуисање корисника (прикупљање информација које су познате корисницима, неопходно је идентификовати изворе информација које обухвата:

- указивање на неопходност истраживања пројектне ситуације,
- подстицање корисника да опише различите аспекте његовог деловања и да истакне њихов значај,
- организовање расправе о чињеницама које имају непосредни утицај на даља истраживања, и
- прикупљање примедби корисника на извештај интервјуа.

У току прикупљања информација неопходно је идентификовати изворе информација.

3. Анкетирање корисника или других лица везаних за дати проблем, у циљу прикупљања података који су корисни за разраду пројекта, обухвата:
 - оцену различитих информација значајних за дато пројектно решење,
 - одређивање извора информација (лица која могу да пруже неопходне податке).
 - спровођење прелиминарних истраживања, да се провери знање потенцијалних учесника у анкети, и
 - састављање анкете и достављање људима за које се сматра да располажу информацијама.

Из прикупљених одговора потребно је извући податке који су корисни за даљу разраду пројекта.

4. Анализа изведених објеката (снимање постојећег стања; уочавање несклада и противречности у постојећем систему; одређивање узрока наведених недостатака и доказивање целисходности измене решења; предвиђање поступка за отклањање недостатака).
5. Класификација прикупљених података обухвата:
 - систематизацију расположивих података из прелиминарних истраживања,
 - откривање нејасних и неодређених података који могу знатно да утичу на пројектно решење,
 - одређивање поступка и времена потребног да се отклони неодређеност података који могу да имају критично значење,
 - систематизацију података значајних за даљи ток пројектовања, и
 - класификацију резултата.

Основна грешка која може да се јави у овом кораку је неправилан избор оних од којих треба тражити одговоре и колико груби или тачни треба да буду ти одговори.

Укратко, циљ прве фазе истраживања се закључује у томе, да се прихвати модификација предложеног или одбаци првобитна варијанта задатка, најављујући при томе аспекте ситуације пројектовања, који дозвољавају да се добијају измене које могу да се и остваре. Овај степен значи усвајање основних принципа и концепције који треба да доведу до коначног решења. Потребно је напоменути да у овој фази могу да се створе велике грешке, потребно је детаљно размишљање о проблему као и искуство, тако да се не би стварала скупа или бескорисна решења. Ово је степен када се техничке могућности и трошкови обједињавају у решењу које треба да прикаже реалне експлоатационе аспекте. Из тога произилази у следећој фази општа концепцијска шема пројектованог објекта. Поједини аутори¹ /Mannheim 1967/, наводе да је *"немогуће достићи оптимална решења - могуће је само спровести оптимална истраживања"*.

Друга фаза пројектовања почиње када је проблем у знатној мери већ дефинисан. Основне карактеристике друге фазе су следеће:

- основни циљ ове фазе је да се на основу претходних истраживања направи концепцијска шема модела довољно тачна за вредновање, а затим да се усвоји решење и пројекат разради до свих детаља. Прављење модела у датом случају је стваралачки акт претварања сложеног задатка у прости изменом његове форме и доношења одлуке о томе шта је неопходно нагласити, а шта је могуће занемарити,
- у овом кораку се фиксирају циљеви, технички задаци и границе задатака, дефинишу значајне променљиве и одређују ограничења.
- задатак се расчлањује на подзадатке, при чему се сматра да је подзадатке могуће решавати паралелно или по редоследу и одређује у којој мери их је могуће решавати независно један од другог,
- један од важних услова успешне трансформације је прво, слобода измене подциљева, друго, брзина оцене могућности и последица реализације ма какве биле конкретне везе (консеквентност) подциљева. Овај други услов је скоро неиспуњив, тако што измена подциљева означава прелаз ка принципски сасвим другом пројекту. Таква измена подциљева може да изазове застој повратне везе од истраживања у пракси (експеримента), која обезбеђује долазак информација неопходних за избор подциљева.
- На нивоу система измена подциљева захтева испитивање алтернативних подсистема и алтернативних елемената, тако да овде остварљивост пројекта не може да се прогнозира из резултата опита који се има или на основу скица. Овде се основна нада полаже у научну оцену. Добро спроведено испитивање (експеримент²) или "прогноза"

¹ Mannheim, M. L. : Problem solving processes in planning and design, Dept of C Eng, MIT, Cambridge, Mass 1967.

² на пр. симулација система (видети литературу, Зрнић, Савић 1997., или другу).

могу да дају информацију о могућности остваривања низа алтернативних решења, а то проширује "простор" пројектанта при трансформацији целог система. У овој фази је највише присутна личност пројектанта. Овде може да се примени и колективно одлучивање, односно може да се гласа о овој или оној варијанти. Обично се предлаже неколико варијанти од којих свака обезбеђује достизање прихватљивог резултата.

При трансформацији структуре системских задатака најчешће се користе математичке и графоаналитичке методе:

- Матрица међузависности,
- Граф међузависности,
- Поступак колективног одлучивања (класификација свих идеја и њихово свођење на усклађену структуру) обухвата следеће активности:
 - избор групе лица способних за генерисање идеја,
 - прикупљање идеја (учесници треба да покушају да усаврше или комбинују идеје које су други предложили),
 - класификацију и оцену идеја (записивање идеја знатно скраћује време класификације).
- Коришћење графоаналитичких метода за анализу кретања материјала (дијаграм процеса израде, дијаграм кретања материјала итд.).
- Методу системског истраживања¹ (користе се подаци из претходне фазе истраживања) обухвата:
 - одређивање карактеристика које не задовољавају дато пројектно решење,
 - одређивање узрока наглих промена које утичу на понашање система у оквиру (граница) дате ситуације (нпр. динамика довоза и одвоза),
 - увођење битних ограничења за узрочнике варијабилности или њихово отклањање (нпр. планирање времена довоза),
 - регистровање утицаја наведених промена, и
 - избор параметара који могу да доведу до жељених промена неопходних за повољно решење дате сложене пројектне ситуације.
- Поступци за оптимизацију транспортног учинка, итд.

Трећа фаза пројектовања настаје тек када је задатак потпуно одређен и када су променљиве и циљеви дефинисани. Пројектант корак по корак решава противуречности из друге фазе све дотле док из многих могућих алтернатива не остане једна односно не добије решење које треба да спроведе у живот. То су логичке методе које у принципу могу да се аутоматизују. Осим тога оне

¹ Jones, J.C.: The Human operator in complex systems, Ergonomics 10, 2 (1967).

омогућавају да се посао расподела међу сарадницима који не морају обавезно да познају целокупно решење задатка и могу да раде без непосредног приступа свим подацима који се односе на пројекат.

Основне карактеристике треће фазе су следеће:

- да се што више смањи неопредељеност, тако да велику помоћ имају подаци који помажу да се искључе алтернативе које не заслужују даља разматрања, при томе све детаљнија анализа задатка доводи до брзог пораста трошкова пројектовања.
- неки подзадаци неочекивано могу да добију посебан значај тако да не могу да буду решени без измене раније прихваћених решења што доводи до цикличности поступка решавања,
- модели који се користе за представљање алтернатива у овој фази треба да буду мање апстрактни и детаљнији; погодни су математички модели и описно аналогни модели, кроз које се изражава укупно знање,
- за остваривање последње фазе у принципу су могуће две стратегије: најчешће се полази од концепције целог система ка подсистемима (прво се решава облик целог објекта), и од подсистема ка решењу објекта, када се из функције планирања појединих одељења (радионица) долази до коначног решења. Често се користе оба начина, када пројектант поставља себи питања на месту где настају несугласности. Некада је могуће независно решавати подзадатке када не утичу на коначно решење (њихово решење не зависи од начина њиховог повезивања).

Циљ треће фазе је да смањи број могућих варијанти и да олакша коначни избор решења уз минимални утрошак времена и средстава. То је јединствен аспект пројектовања који у неким случајевима може да се у целости изврши рачунаром.

1.5. Резултати примене савремених метода пројектовања

Главни резултат савремених метода пројектовања је објективизација процеса мишљења које је код традиционалног начина пројектовања највише зависило од пројектанта и његове поделе на три категорије: интуитивно мишљење, логичко мишљење и процедурално мишљење. Таква објективизација и погодно расчлањивање су довели до појављивања низа метода од којих се свака односи првенствено на један аспект што је при традиционалном пројектовању представљало један процес који није могао да се објасни, при чему треба напоменути, да је тај процес ефикасан на нивоу пројектовања компонената.

Циљ објективизације и расчлањивања пројекта је очевидан: треба да

омогући нови приступ у решавању проблема и размишљања пројектанта обогати великом количином нових информација, факата и идеја, који су значајни за пројектовање на нивоу система, али који тешко могу да се садрже у индивидуалном истраживању (експерименту, искуству, једног макар и талентованог пројектанта). Методологија (поступак) треба да омогући управљање пројектом на високом степену синтезе, од кога у највећој мери зависи успех новаторске делатности.

Ефекти примене савремених метода у пројектовању су: пројектанти су принуђени да прикупљају нове информације што им омогућава да изађу из првобитног круга мисли; пројектант не пада у искушење да се ухвати за прву мисао која му падне на памет и логичке методе знатно повећавају број алтернатива које подлежу оцени у фази канвергентног истраживања. Њихов главни недостатак је у томе што дозвољавају да се прихвати толико информација и идеја, скупљених у току прве фазе (дивергентног) истраживања. Међутим велика количина информација доводи до губљења контроле над пројектом у целини и уместо разумног побољшавања далази до одступања од здраве логике.

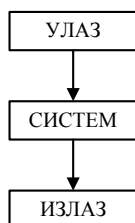
Озбиљан недостатак савремених метода примењених на пројектовању сложених објеката када све функције не могу да буду потпуно дефинисане у првој фази разраде система, је то, да оне умањују могућност појављивања главних циљева и подзатака, који за успешно остваривање конвергенције захтевају истраживања на разним нивоима. При томе треба нагласити да недостаје формализована метода која би дозволила групи људи да тесно сарађују у важном процесу трансформације података. То је средство које обезбеђује интуитивни избор решења у критичним тачкама појединих фаза.

1.6. Системски приступ

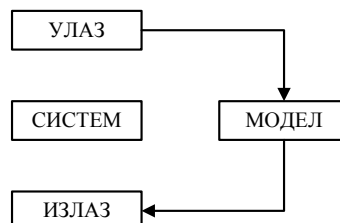
При студирању комплексног система постоје две алтернативе: једна је да се анализира понашање стварног система, што захтева дугачак период времена, велике трошкове или је уопште немогуће, а друга је да се посматра понашање модела датог система (слике 1-5 и 1-6). Сврха анализе је да се: предвиди рад и понашање система при задатим условима, прикажу техничке предности и недостаци разматраних алтернатива и створи подлога за економску анализу пројекта.

Систем представља ограничен и сређен комплекс елемената (делова) одређене функције које се налазе у погодним међусобним односима за постизање одређеног циља. Општа теорија система почива на ставу да постоје таква својства система која нису директно изведена из делова или компонената које чине целину. Ова својства чине целину - систем, додајући нечему више него

што је једноставна сума његових делова. Навешће се неке дефиниције система. "Комбинација појединих компонената система са јединственим односима између њих ствара целину која је јединствена" /Buffa 1976/. "Систем је скуп елемената ограниченог дела стварности, који је предмет студирања или интересовања" /Pritisker 1974/. "Систем је скуп ресурса организован да изведе скуп пројектованих функција, да би се постигли жељени резултати" /Klime i Lifson 1975/ итд. Зато се може сматрати да је један систем релативна ствар. У некој ситуацији посебан скуп елемената може да буде само мали део неког већег скупа (система) и представља подсистем; у другој ситуацији исти скуп елемената може да буде у жижи интереса и разматрао би се као самосталан систем.



Слика 1-5. Понашање система



Слика 1-6. Понашање модела

Циљ истраживача је да детаљно објасни шта је цео систем, околина у којој функционише, који су његови циљеви и како је подржан помоћу активности његових делова. Да би се даље развио овај начин мишљења потребно је поставити низ корака за размишљање о систему у којима ће се поново проверавати закључци стечени у претходном степену. При томе, треба подвући пет основних разматрања која истраживач треба да има на уму када размишља о значењу речи систем /Churchman 1968/:

- укупни циљеви система, и посебно, мерење перформанси система,
- околина система са фиксним ограничењима,
- ресурси система,
- компоненте система (елементи, подсистеми), њихове активности, циљеви и мерење њихових перформанси, и
- управљање системом.

Циљеви целокупног система су почетна фаза истраживања, зато што могу да се направе многе грешке ако се игноришу прави циљеви система као целине. У циљу разјашњавања проблема, потребно је са недовољно јасних циљева прећи на прецизне и специфичне мере перформанси целокупног система. Мере перформанси изражене одговарајућим скором теба да покажу колико систем добро ради. Одређивање мера перформанси помаже истраживачу да нађе толико много релевантних последица активности система, колико је то могуће. Његова истрајност у намери да буде што је могуће више објективан, помаже му да минимизира сопствене грешке.

Други аспект који се разматра је **околина** (окружење) **система**, значи нешто што се налази изван система, тако да систем може да утиче релативно мало на њене карактеристике или њено понашање. Околина је нешто што је изван контроле система, али нешто што може да утиче на понашање система.

Следећа ствар која се разматра су **ресурси** система. Налазе се у систему и представљају средства помоћу којих систем обавља своју функцију (опрема, зграде, расположиви фонд човек-часова, финансијска средства итд.). За разлику од околине ресурси су средства која систем може да промени (промена структуре). Систем може да одлучи какав ће бити распоред радника на појединим пословима, која су временска ограничења за обављање различитих активности, како се троши новац за обављање различитих активности, итд. При разматрању и избору ресурса, посебну пажњу треба посветити могућности примене технолошких иновација значајних за развој датог система и то код опреме, увођења информационих система, обуке персонала итд. Ресурси су општи резервоар из кога могу да се обликују специфичне акције система. Специфичне акције се предузимају помоћу компонената система.

Компоненте су четврта ставка са наведене листе. Овде се често греша када се размишља на традиционалан начин и изводи подела према називу одељења (нпр. производња, складиште, пријем итд.). Код системског прилаза игнорише се традиционална подела на одељења или погоне и приступа се рационалној **подели према задатку** који систем мора да изврши.

Може се поставити питање, зашто се стално радије говори о задатку уместо о одељењима. Зато што анализирајући задатак, истраживач може да оцени вредност појединих активности за целокупан систем. При томе је потребно знати да ли је једна активност компоненте система (подсистема) боља него друга. Уколико активност једног департмана припада већем броју задатака, може да се деси да није могуће разликовати њен стварни допринос. Потребно је нагласити, да је прави разлог за поделу система на компоненте, да се аналитичар снабде са неопходним информацијама да би сагледао да ли систем функционише на прави начин и шта би требало урадити следеће.

Ултимативни циљ системског размишљања је да се открију такве компоненте (подсистеми, елементи), одређеног задатка, чије мере перформанси заиста одговарају мерама перформанси целокупног система. Очигледна потреба је да када перформансе једне компоненте порасту (а све остало се не мења), требало би да порасту и перформансе целокупног система. На други начин, компонента није заиста допринела перформансама система. Треба напоменути, да у појединим случајевима друге компоненте система, које представљају “уска грла” могу да онемогуће ову промену у систему.

Управљање системом обухвата разматрање свих ствари које су раније изнешене: укупни циљеви, околина система, искоришћење ресурса, компоненте, постављање циљева компонената, додељивање ресурса итд. Управљање не значи само проверу да ли се планови спроводе коректно, оно обухвата и евалуацију планова и као последицу евентуалне промене планова. Један од критичних аспеката управљања је планирање промена, зато што нико не може да захтева да се на почетку поставе коректно сви циљеви, дефиниција околине, ресурси или дефинишу сви подсистеми.

Искуство је показало да за успешно планирање и пројектовање сложених система захтева се **системски прилаз**. У примени, системски прилаз захтева да се у пројектовању система експлицитно разматрају све међузависности појединих компонената система. Занемаривање интеракција између подсистема и елемената знатно повећава вероватноћу да адекватно решење проблема неће бити нађено. То у неким случајевима захтева да се прошире границе система толико далеко колико је потребно да се реши које су међузависности значајне за решење проблема. Примена системског прилаза захтева рационалну методологију. Системски прилаз захтева не само разматрање довољно великог система да се процене интеракције, већ такође и коришћење системске методологије. Системски прилаз карактеришу следећа својства:

- коришћење теорије система и системског инжењерства у пројектовању,
- наглашавање значаја међузависности компонената система које образују један видљив ентитет, и
- коришћење елемената квантитативне технике у поступку решавања.

Системски прилаз проблему укључује следеће:

- дефинисање проблема за цео систем,
- полазна тачка је систем као целина,
- представљање комплексне интеракције између појединих компонената система,
- формирање модела система,
- примену више критеријумске оптимизације, и
- систем као целина претходи стварању неког реалног објекта.

Дефинисање неког проблема је динамички процес и мора да остане отворен да прихвати промене које су базиране на новим информацијама. У колико је проблем комплекснији често ће бити потребно да се дефиниција проблема модификује у току развијања процеса због нових непредвиђених информација. Значајан део дефинисања проблема је **постављање граница система**. Обим сваког система и модела утврђен је само да систем буде идентификован и изолован. **Спољни фактори** могу да делују на систем на неколико начина:

- могу да буду разматрани као улаз у систем,
- могу да буду игнорисани, и
- могу да промене дефиницију система; обим система може да се увећа и да их укључи у систем.

У системској терминологији, елементи који су изван граница система, али који могу да утичу на њега, конституишу околину система. Однос између онога што чини систем и онога што чини његову околину је произвољан. **Границе**, помоћу којих истраживач дефинише предмет свог студирања, такође одређују шта је околина система.

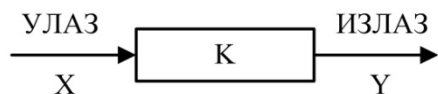
Важно својство неког система је у томе да његови елементи дејствују функционално заједнички ради остварења постављеног циља. На основу делимичних циљева не може се закључити о циљу целокупног система, јер се целина квалитативно разликује од делова и не представља њихов прост збир. Међутим, делимични циљеви су одређени циљем система.

Сваки систем може се разложити на подсистеме, али је и он подсистем неког комплекснијег система вишег реда и уклапа се као такав у неки још сложенији систем. Као систем вишег нивоа може се сматрати и околина у којој треба да дејствује систем нижег нивоа. Како се околином или циљем система вишег нивоа одређују циљеви датог система, ствара се хијерархија циљева. Циљеви на појединим нивоима система налазе се у међусобној вези, па при пројектовању система треба ту сагласност узети уобзир.

У представљању система као целине, употребљавају се извесне технике које су ефикасне за представљање интеракција између свих компонената или подсистема. Систем може да се опише и представи помоћу блок дијаграма, карти тока, мрежних дијаграма, аналитичких и симулационих модела, којима се представљају комплексне интеракције компонената система. Сви наведени модели система описују систем на неки начин али њихове функције у системским методама нису идентичне. У картама тока блок дијаграмима и мрежним дијаграмима методично се постављају, корак по корак трансформације које ће заузети место у пројектовању система. Сваки корак има улаз и излаз, и дефинишући кораке, улазе и излазе, дефинишу се међусобни односи. Приказивањем односа помоћу аналитичких и симулационих модела, односи се редуцирају на облик који може да предвиди понашање и рад неког система.

Сваки блок у оквиру система има значај елементарног процеса. Однос улаза и излаза је дат математички помоћу помоћу функције трансформације (слика 1-7). Овај однос може да буде врло једноставан или комплексан. На слици 1-8 приказано је да уместо математичког израза за трансформацију, може да се опише процес са његовим улазима и излазима. Блок представља модул за

грађење системског концепта у оквиру граница операционе функције. Сваки блок може да представља трансформацију (механичку, физичку, хемијску, итд.) или активност кретања (транспорт, палетизацију, ускладиштење, итд.).



Слика 1-7. Функција трансформације



Слика 1-8. Процес трансформације

Коришћење подсистема који су предходно планирани (када је то могуће), при анализи модела целог система исти може да се представи помоћу њихових улазних и излазних параметара, чиме се редукује проблем на односе између подсистема. Ако је подсистем прегледан и ако су дефинисани поједини његови елементи, као и односи и зависности између њих, подручје које репрезентују може да се оптимизира релативно лако. Због вишеструких односа између појединих подсистема није сигурно да сума оптималних подсистема даје и оптимално решење укупног система. На поједине подсистеме често утичу величине које су непосредно везане за одређивање неког другог подсистема. То значи, да је потребно да се развије поступак који осигурава тражење укупног оптимума, или решења које је близу оптималном.

Елементи система су најмањи делови датог скупа који се разматрају. Представљају делове система који могу да се идентификују и који су способни да међусобно делују на такав начин да читав скуп делова заједно функционише како би удовољио низу специфичних захтева. При томе свака компонента делује бар на једну компоненту у систему и на сваку компоненту делује најмање једна компонента из система. Скуп елемената дефинише садржај система. У једном транспортном или производном систему односи између елемената могу да се разматрају из различитих углова, као њихов функционални, структурални, економски, социјални или еколошки аспект. Скуп елемената дефинише структуру система.

Сваки елемент система има особине које се могу описати нумеричким или логичким вредностима. По својој природи елементи система могу бити статички (не мењају свој физички положај у систему) или динамички (крећу се у систему у зависности од времена). Стање система дефинисано је стањем свих елемената система. Хронолошки редослед стања система чини његову историју. Стање система у два временска тренутка идентично је само ако су стања свих елемената иста. Систем се налази у равнотежном стању када се вероватноћа да буде у неком од својих стања не мења са временом. Прелазно стање настаје неком спољашњом побудом. Систем је стабилан ако се враћа у равнотежно стање после сваке спољашње побуде.

1.7. Анализа система

Често се поставља питање где је граница између анализе система (System Analysis - SA) и интуиције. Оно што ми називамо интуицијом представља врсту логичке анализе. Она користи modele нашег осећаја упрошћеног појма одговарајуће реалности. Људска свест има неке предности при одлучивању, она има чудесан капацитет меморије, који јој омогућује да учи из искуства. Она поседује изванредну вештину (способност) да издваја значајне променљиве и да потискује остале. Она може да гради modele веома погодне за дати проблем који се разматра. Са друге стране велики формални модели који се користе на рачунарима су знатно мање флексибилни. Једна од невоља са интуицијом је, да ви никада не знате да ли је то добро или не без одговарајуће аналитичке провере или симулационог експеримента (много имплицитних аргумената је скривено у свести онога који одлучује). Ми верујемо у човечију интуицију у области у којој је он експерт, али у пракси се бавимо пословима толико широког спектра да се нико не може назвати експертом. Анализа система у различитим областима технологије и транспортних система зависи и од логистичких фактора (подршке), економских, политичких и стратешких фактора и често има више од једне или две подобласти. Може се закључити да нико није експерт у области као целини, тако да се интуицији без подршке (SA) не може веровати.

Анализа система (SA) представља најобимније средство за комплексно решавање проблема и садржи резултате дуготрајне историје анализе проблема коришћењем хеуристичких техника. Представља оквир за комбиновање знања експерата из многих области да би се дошло до решења. Она повезује низ професионалних дисциплина и велики број међузависних фактора у јединствену пројектну снагу. Треба напоменути да, SA сама по себи не гарантује да ће корисник доћи до идеалног решења проблема, међутим експлицитно коришћење научних метода или анализе као помоћ у одлучивању ће помоћи да се дође до задовољавајућих решења. Овде се радије користи термин "бољих" или "добрих" него оптималних решења. Треба нагласити да је SA неопходна код свих компјутерских апликација. Неки од корисника SA инсистирају да се тај термин замени са термином "**пројектовање система**".

Основни елементи анализе система обухватају следеће:

- Циљ (циљеве) који желимо да испунимо.
- Системе помоћу којих циљ може да се испуни.
- Трошкове или ресурсе захтеване за сваки систем.
- Математички модел.
- Критеријуме, који се односе на циљеве, за избор најповољније алтернативе.

Избор критеријума је често централни проблем у ма којој анализи система. Уколико једна одлука обухвата оптимизацију великих система (**Large Scale Systems - LSS**) као целине, то је одлука на највишем нивоу. Одлуке на том нивоу захтевају критеријуме базиране на комплексним технолошким, економским, политичким и стратешким факторима. Међутим, многе одлуке треба да се донесу на нижим нивоима. Ми можемо да факторисемо један проблем и променљиве које су од прворазредног значаја у том решењу, игноришући остале и да уместо оптимизације система као целине, субоптимизирамо неке његове подсистеме, бирајући одговарајуће критеријуме нижег нивоа.

Истицање проблема који можемо успешно да издвојимо је уметност. Ми можемо да субоптимизирамо, све док искрено препознајемо да се субоптимизација бави само са неким факторима значајним за одлуку, али да је тешко изабрати најбоље критеријуме. Не постоји замена за свеобухватну и добру пресуду. Спроводити **SA** са лошим критеријумима је еквивалентно са одговорима на лоша питања.

У неким случајевима не постоји јединствени прави одговор на проблем избора критеријума. Очигледно је истина, да тешкоћу представља велики број променљивих. Многе ствари су баш значајне, а **SA** има тешкоћу да их све укључи. Проблем интелигентног понашања када постоји неизвесност је заиста тежак. **SA** бар дозвољава неке да систематски испита могућност доминације појединих решења. При томе треба напоменути, да **планирање по фазама** које су временски раздвојене је тешко из два разлога: прво, избор критеријума када се трошкови јављају у различитим годинама реализације, и друго, неопходна предвиђања промена у технологији и других параметара.

При коришћењу **SA** јавља се низ проблема:

- пораст броја међузависних променљивих које разматрамо, са неким променљивим можемо да управљамо, а са другима не,
- из практичних разлога велики проблеми (**LSS**), треба да се смање, треба да издвојимо практичан проблем, нпр. променљиве које су посебно значајне за одлучивање и са којима се бавимо, и да потиснемо остале; како ћемо то да урадимо? У ограниченом опсегу помоћу предходних анализа и тестова, али у многим случајевима обичним пресуђивањем,
- тешко је одлучити шта је значајно а шта није, у многим анализама све што је лоше потиче одавде; често се укључи маса података и прорачуна који представљају додатно оптерећење, или се искључе неки заиста критични фактори од којих зависи добра одлука, и
- неизвесност је присутна у многим операционим проблемима, а захтева се да се њоме бави у анализи система.

SA представља систематско испитивање проблема избора алтернатива, у којој сваки степен треба да буде експлицитан када год је то могуће. Она се бави избором који разматра рад у неком будућем времену и ставља шири поглед на проблем избора. При томе, домет избора је далеко шири и број алтернатива које су релевантне је консеквентно далеко већи.

Када желимо да извршимо рационалан избор, ми покушавамо да балансирамо циљеве које желимо да достигнемо према трошковима достигнућа. Чинећи то извесна питања су увек укључена. Прво, које су **значајне алтернативе** на ма који начин. Друго, који **тест приоритета** треба да применимо у избору између алтернатива. Шта је наш критеријум за избор? Треће, како **меримо циљеве** у односу на трошкове приликом избора између датих алтернатива? Шта је наш модел за дату ситуацију, како га примењујемо и како интерпретирамо резултате. Потребно је поставити питање које су релевантне алтернативе.

Присутне су две класичне грешке које овде могу да се учине. **Прво**, када ограничавамо ранг алтернатива можемо да избегнемо грешку ако све алтернативе које су значајне у једном ширем значењу разматрамо. При томе покушавамо да посматрамо све комбинације алтернатива које су уопште могуће. Велика тешкоћа коју ова процедура намеће је њена примена. Што је више релевантних алтернатива, већа је тешкоћа да се упоређују. Потпуно је јасно да у ма којој анализи неможемо све узети у обзир. Морамо да елиминишемо мање значајне алтернативе. Битна процедура највећег броја **SA** је **анализа осетљивости**, која треба да покаже како и колико резултати зависе од различитих утицајних фактора. Примећује се, да ниједан од ових коментара не говори прецизно шта да се учини у посебној ситуацији. Потпуно је јасно да је **SA** у текућој прекси више уметност него наука. **Друго**, у пракси нико није вољан (способан) да вам да проблем (пројектни задатак), који је педантно и коректно формулисан, са идентификацијом свих значајних алтернатива. Перцепција проблема и проналажење значајних алтернатива су кључ креативног дела студије.

Не треба пренагласити тешкоће проналажења најбољег решења комплексног проблема помоћу анализе система. Многи проблеми по својој природи су тако сложени да човек никада неће да поверује да су најбољи резултати пронађени, посебно, човек се може латити једног проблема у намери да пронађе боље, радије него најбоље решење.

1.8. Субоптимизација у операционим проблемима

Валидност, а према томе и корисност операционих истраживања зависи од вештине са којом се пројектује, а посебно са начином којим се бирају критеријуми. Проблем критеријума је релативно запостављен у литератури која се бави операционим истраживањима, а у пракси се најчешће решава узимајући прву одговарајућу веродостојну функцију која истраживачу падне непамет. Потребно је напоменути да, тражење квантитативних решења коришћењем лоших критеријума је еквивалентно давању одговора на лоше постављена питања.

Тражење "добрих" решења помоћу метода операционих истраживања представља скоро увек "субоптимизацију", у смислу да коришћени критеријуми најчешће одговарају нижем нивоу (бар не највишем), којим се бави истраживач, пројектант или корисник. Термин субоптимизација може да буде примењен код ма које употребе парцијалне или некомплетне циљне функције. "Ниво" може да да једну ригурозну дефиницију у формулисању ма кога посебног операционог проблема, мада дефиниција може некада да садржи елемент произвољности, зависно од тога како је проблем формулисан. Истраживач субоптимизира, односно користи критеријуме нижег нивоа, зато што је често немогуће, или због принципа или најчешће у пракси, да се израчунају последице ма које акције у односу на одговарајуће критеријуме вишег нивоа.

Поставља се питање, шта може истраживач здравим разумом и научним методама квантитативно да помогне у добијању задовољавајућих решења. Једна могућност је да се покуша потпуна оптимизација, што формално не представља тешкоћу. Сваки потрошач/ресурс има одређену "функцију корисности" (или приоритета) која показује његову вредност у свим могућим комбинацијама, које нуди дато тржиште, у оквиру датог проблема. Све што један истраживач треба да уради је да одреди функцију корисности датог система, трошкове расположивих добара и опслуживања и израчуна решење, максимизирајући корисност или функцију циља објекта (датог система) према задатим ограничењима.

Сваки искусан истраживач зна интуитивно да је такав приступ стерилан и често безнадежан. Ми неможемо да напишемо општу функцију корисности, зато што из датог система неможемо да извучемо каква је, а такође неможемо је извести из неког другог извора. Уколико се одбаци потпуни оптимизациони прорачун, поставља се питање шта можемо да учинимо са мање амбиција. **Прво**, можемо да извршимо декомпозицију система и да урадимо квантитативну субоптимизациону анализу појединих подсистема коришћењем критеријума нижег нивоа, и **друго**, можемо да урадимо претходну студију која не мора да буде квантитативна, може да оцени систем и користи интелигентно

результате субоптимизације, и која може да помогне да се донесе добра одлука и у оним секторима у којима субоптимизација није могућа из једног или другог разлога.

Могућа субоптимизација може да се подели у три класе:

- у случају када је једнодимензионална циљна функција. Постоји само један значајан циљ, или уколико их има неколико, у пракси се сви могу редуковати на једну меру (нпр. најмањи експлоатациони трошкови),
- у случају када је циљна функција мултидимензионална, али сви значајни циљеви су предмет квантитативне анализе. На пример, када се разматрају инвестициони трошкови и поузданост, истраживач треба да процењује оба узимајући у обзир све факторе и да пресуди у процесу добијања одлуке,
- у случају када се значајни циљеви изоставе зато што нису предмет квантитативне анализе (нпр. психолошки утицаји), морају се на одговарајући начин узети у обзир и квалитативни утицаји.

1.9. Модел

Данас постоји тежња да се сложени задаци у разним стручним областима тако упросте, односно разложе, да се могу решавати помоћу модела. То значи, да се применом начина размишљања и поступака које даје област систем инжењерства могу решавати и сложени проблеми у пројектовању различитих производних, транспортних и складишних система. **Модел** је имитација неког реалног система. Може да представља систем на различите начине и при томе мора да испуни следеће захтеве:

- да предвиди понашање система у датој ситуацији, и
- да се њиме експериментише знатно лакше него са системом.

Пошто представља систем модел треба да га описује довољно детаљно тако да његове карактеристике одговарају карактеристикама система. Модел је могуће изградити само ако је већ формирана основна теорија и представља симплификацију неких кључних елемената теорије. Омогућава нам да испитамо закључке теорије, али не и да објаснимо понашање реалног система што чини теорија.

Теорија је опште стање принципа који су извучени из система или података добијених посматрањем система. Циљ теорије је да објасни понашање система, и евентуално да предвиди будуће стање. Значи теорија представља основу за градњу система.

Модел не репрезентује активност или понашање неког система, већ **историја стања модела** пружа информације о активностима и понашању (на пр. симулација система). Сврха модела је укратко, следећа:

- да опише понашање реалног система, и
- да помогне објашњавању понашања система у околностима различитим од оних за које је првобитно моделиран.

При моделирању поред детаљног познавања посматраног процеса потребан је осећај за одређивање променљивих које ће се укључити у модел. У колико се у основни модел укључе све променљиве исти постаје неоперативан и неекономичан. Посебно се напомиње да је ово тешко остварити зато што познавање система никад није потпуно.

После изградње (формирања) модела потребно је проверити његову **ваљаност**, односно да ли се модел понаша еквивалентно реалном систему. При томе еквивалентно подразумева задовољавајући степен подударности. Напомиње се да апсолутно слагање није могуће ни потребно. Често се анализа система почиње коришћењем упрошћеног модела док се не сагледа сложеност проблема (на пр. код анализе кретања материјала, шема кретања, дијаграм тока, итд.).

Проблем ваљаности своди се на питање до којих граница и вредности улазних параметара модел може да да прихватљиве резултате. Са обзиром на намену и циљеве истраживања могу да се разматрају три типа ваљаности:

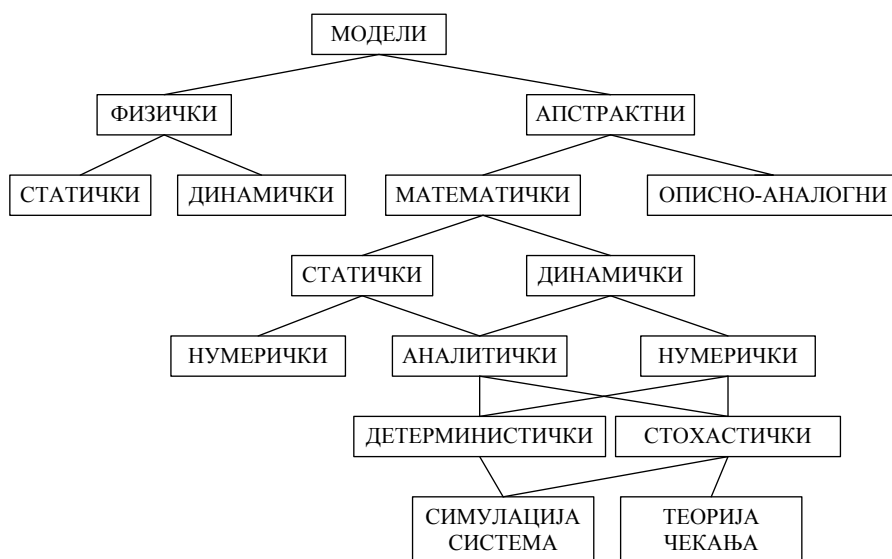
- **репликативна**, која се односи на упоређивање података добијених моделирањем и снимљених на реалном систему,
- **предикативна**, када се модел користи за предвиђање, односно анализу ситуације која није посматрана на реалном систему, и
- **структуралана**, када се користи модел за истраживање самог система.

Проблем ваљаности укључује теоријска, статистичка, практична, а често и филозофска разматрања. При испитивању ваљаности потребно је обратити пажњу на осетљивост улазних променљивих, односно да ли промене улаза изазивају исте промене излаза као и на реалном систему. Посебан проблем при градњи модела је испитивање да ли исти одговара траженим захтевима. Адекватност модела зависи од његове способности да предвиди понашање међусобно зависних варијабли уграђених у модел. У литератури су дата два приступа адекватности модела:

- **емпиријски** који се базира на критеријуму емпиријске провере сваког постулата (подвргава се статичким тестовима), значи, не признају се претпоставке које се не могу верификовати,

- **рационални** када је потребно прикупити и искористити све информације које су доступне. У овом случају је потребно: одредити компоненте, изабрати променљиве и формирати функционалне везе и односе. Основни је критеријум рационалност у функцији циља истраживања.

Модели могу да се поделе у две основне групе, на физичке и апстрактне (слика 1-9). У пројектовању се често користе физички (статички) модели у завршној фази пројектовања, при изради коначног layout-a (модели опреме од хартије, дрвета, пластичне масе, компјутерски програми за приказивање распореда појединих ресурса, итд.). У појединим случајевима се користе физички динамички модели (на пример модел складишта са регалним дизалицама које извршавају све неопходне функције). Ови модели се обично користе за упознавање инвеститора са решењем датог система, а не за неке друге анализе.



Слика 1-9. Подела модела

Апстрактни модели имају симболичну, вербалну и математичку презентацију система. Математички модели система представљају скуп математичких операција и података који верно описују понашање тог система у околностима које се проучавају. Пошто су реални системи у општем случају веома компликовани, математички формализовани модели могу их подражавати само у одређеном домену. Ствар је искуства, знања, вештине и поставке задатка колико ће верно математички модел приказати објекат или процес који нас интересује.

Математички модел мора да поседује следеће особине:

- да је концепцијски јасан и доследан,
- да је сврсисходан и да даје потпун одговор на сва питања,
- да се може лако и поуздано користити,
- да се може дограђивати и развијати сагласно новим искуствима.

Математички модели се обично разврставају према својим особинама. У литератури срећу се следеће поделе:

- **статички модели** (стање система се посматра у датом тренутку) или динамички (стање система се посматра у различитим тренутцима зато што се променљиве мењају са временом),
- **детерминистички модели** (променљиве могу да се измере или израчунају) или стохастички (променљиве нису познате унапред, али егзистира теорија о њиховом понашању), и
- **дискретни модели** (стање система се не мења у датом интервалу времена) или континуални (стање система се мења континуално са временом).

Понекад се модели деле и према методи која се користи за решавање проблема, па се тако помињу модели засновани на линеарном и динамичком програмирању, теорији чекања, итд. У принципу модел је боље разврстати на први начин, према особинама, јер је математичка метода само оруђе за решавање проблема и може се заменити нечим другим.

Аналитички модели су нашли велику примену код решавања једноставнијих проблема у случајевима када проблем може да се добро дефинише. При томе се напомиње, да модел базира на претпоставкама од којих зависи да ли му се може дати облик који омогућава аналитички приступ. Напомиње се да, систем и односи у њему често нису довољно познати да се изразе аналитички, тако да се уводи низ апроксимација у циљу добијања одговарајуће математичке форме.

Један од најважнијих проблема у презентовању система кретања материјала је феномен чекања. Студирање овог феномена као стохастичког процеса треба да карактерише статистичка својства случајног процеса. У ову сврху се користе аналитички модели (теорија редова чекања - queueing theory) и модели симулације.

Модели теорије редова чекања дају нам увид шта се дешава у системима опслуживања (нпр. системи транспорта, складиштења, итд.). Пажња се усмерава на израчунавање вероватноће да ће се систем опслуживања наћи у специфичном стању у ма које случајно време. Познавање таквог стања води директно ка параметрима који су интересантни (нпр. просечан број

транспортних јединица које чекају, просечно време чекања итд.). Модели редова чекања често нису корисни за решавање практичних проблема велике сложености, али омогућавају стварање основног концепта и код решавања комплексних проблема /Зрнић 1978, 1979, 1980/.

Комплексност многих транспортних и складишних система често чини да је предвиђање рада система помоћу аналитичких модела немогуће или непрактично. У случају када се долазак транспортних јединица не понаша по расподели за коју је развијен модел, када се расподела времена доласка мења неколико пута у току дана, или ако се редови формирају испред више уређаја за опслуживање који имају различита времена опслуживања, када систем ради са великим оптерећењем и при испитивању реаговања система на повремена оптерећења, аналитичке методе нису више применљиве, јер захтевају уношење додатних рестриктивних претпоставки. Такође када се анализирају комплексни транспортни системи који се састоје од више уређаја за опслуживање повезаних у раду паралелно и серијски, није могуће користити теорију редова чекања. Резултат је да се, као заједничка системска методологија за представљање рада и понашања система, користи симулација.

Математички модел није никада сам себи циљ, већ је само средство које се мора допуњавати другим средствима, на пример извођењем експеримената. Ипак је то моћно средство у пословима везаним за разјашњавање понашања сложених система транспорта, ускладиштења и за размештај опреме и простора, тако да се математичко моделирање користи, са успехом у пројектовању ових система.

Описно - аналогни модели се најчешће користе за анализу редоследа извођења технолошких процеса (нпр. дијаграм процеса израде), анализу кретања материјала (дијаграм кретања материјала, итд) и распоред опреме и простора (мрежни дијаграм).

1.9.1. Аналитички модели - примери

У даљем тексту дати су примери аналитичких модела који описују процес опслуживања складишта високорегалном дизалицом. Наведени примери треба да помогну читаоцу да прихвати један начин размишљања да модел са једне стране треба да буде једноставан и лак за коришћење (експериментисање), а са друге стране да опише систем реално онолико колико захтева дати проблем и ниво решавања пројектног задатка.

Модел 1 просечно време опслуживања служи за оријентационо одређивање радног циклуса дизалице, док се за детаљни прорачун кретања дизалице користи модел 2. У трећем примеру дат је аналитички модели за детерминистички поступак одређивања потребног броја аутоматски

управљаних колица (**AGV**) у погонима флексибилне производње.

1. Просечно време опслуживања

Поступак¹ за одређивање циклуса рада дизалице може да се користи за прорачун претоварног капацитета код израде идејних решења складишта. Фабрика Siemens Dematic га примењује за тестирање дизалица у већ изграђеним складиштима. У датом моделу полази се од претпоставке да је цело складиште попуњено робом, да сва роба има исти обрт и да је улаз/излаз константна величина.

Одређивање просечног времена опслуживања, зависно од врсте циклуса (једноструки или сложени) и положаја улазно излазних координата је дато у даљем тексту. За одређивање појединих елементарних времена користи се математички модел кретања регалне дизалице, који не узима у обзир време убрзања/успорења и фине вожње.

У прорачуну се користе следеће ознаке:

L, H - дужина и висина радне зоне регала,
 H_u, H_i, L_u, L_i - одговарајуће координате места ускладиштења/
искладиштења (P_u, P_i),
 V_x, V_y и V_z - максималне брзине кретања регалне дизалице у правцу x , y
и z .

Просечно време једноструког циклуса (слика 1-10) је дато изразом:

$$T_{cj} = \frac{1}{2}[t_1(P_1) + t_2(P_2)] + 2t_d$$

где је:

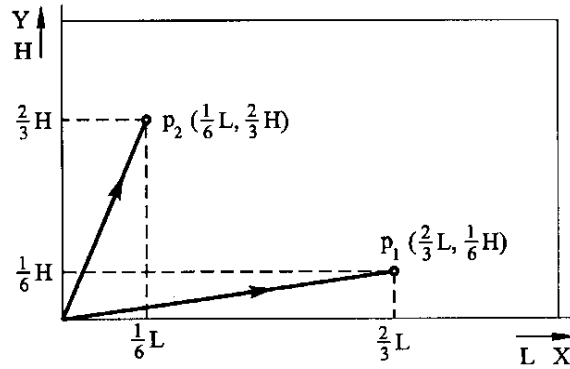
t_1 - време циклуса дизалице при вожњи од $P_u(0,0)$ до тачке $P_1(\frac{2}{3}L, \frac{1}{6}H)$

и повратка у P_u (ако је $P_u = P_i$),

t_2 - исто за тачку $P_2(\frac{1}{6}L, \frac{2}{3}H)$,

t_d - допунско време (укључивање, тражење локације, позиционирање, контрола, захватање или одлагање терета).

¹ FEM propisi "Testspiele zum Leistungsvergleich und zur Abnahme von Regalförderzeugen", Demag Systemtechnik.



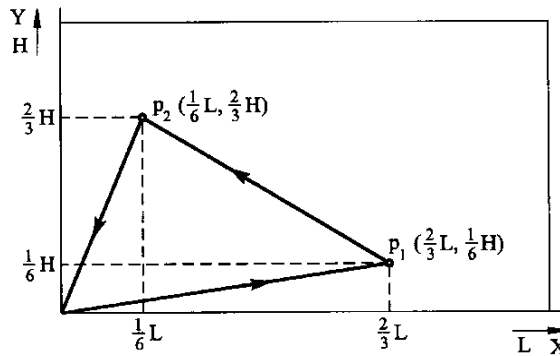
Слика 1-10. Једноструки циклус

Просечно време сложеног циклуса (слика 1-11) је дато изразом:

$$T_{cs} = t_s(P_1, P_2) + 4t_d$$

где је циклус вожње регалне дизалице ($P_0 - P_1 - P_2 - P_0$). Сложени циклус обухвата следеће активности:

- захватање транспортне јединице (**ТЈ**) у $P_u(0,0)$
- вожња до палетног места (**РМ**) P_1 ,
- одлагање **ТЈ** у P_1
- вожња од P_1 до P_2 ,
- захватање **ТЈ** која треба да се изнесе из складишта у P_2 .
- вожња од P_2 до P_0 ,
- одлагање **ТЈ** у P_0



Слика 1-11. Сложени циклус

2. Прорачун кретања регалне дизалице

Математички модел кретања регалне дизалице за једноструки циклус дат је следећим изразом:

$$T_{cj} = \max\{t_x; t_y\} + 2t_d$$

где је:

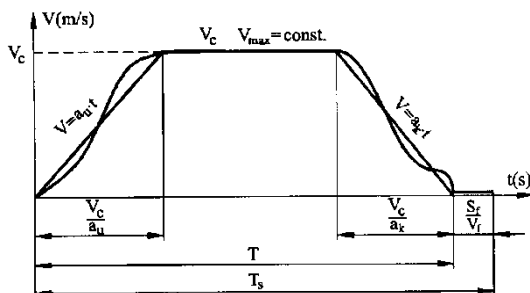
T_{cj} - време циклуса,
 t_x - време кретања дизалице у хоризонталном правцу,
 t_y - време кретања дизалице у вертикалном правцу,
 t_d - допунско време, које обухвата: време потребно за укључивање механизма, тражења локације, померање виљушки, захватања и одлагања терета, као и време потребно за пригушивање осцилација носеће конструкције при заустављању.

У случају када регална дизалица ради са сложеним циклусом (има више захватања терета у једном циклусу, време циклуса износи:

$$T_{cs} = \sum \max\{t_x; t_y\} + (n+2)t_d$$

Дијаграм кретања регалне дизалице приказан је на слици 1-12, при томе су примењене следеће ознаке:

V_c - константна брзина, обзиром на услове задатка, ово је и максимална брзина V_{max} (m/s),
 a_u - убрзање (m/s^2),
 a_k - успорење при кочењу (m/s^2),
 t - време (s),
 S_f - пут fine вожње (m),
 V_f - брзина fine вожње (m/s),
 T - време кретања између две локације, без времена fine вожње (s),
 T_s - укупно време кретања између две локације, укључујући време fine вожње (s),
 n - број локација које се обиђе у циклусу.



Слика 1-12. Дијаграм кретања регалне дизалице

Брзина кретања регалне дизалице је дата изразом:

$$\begin{aligned}
 V(t) &= a_u \cdot t, & 0 < t < \frac{V_c}{a_u} \\
 V_c, & & \frac{V_c}{a_u} \leq t \leq T - \frac{V_c}{a_k} \\
 a_k \cdot (T - t), & & T - \frac{V_c}{a_k} < t < T \\
 V_f, & & T < t < T_s
 \end{aligned}$$

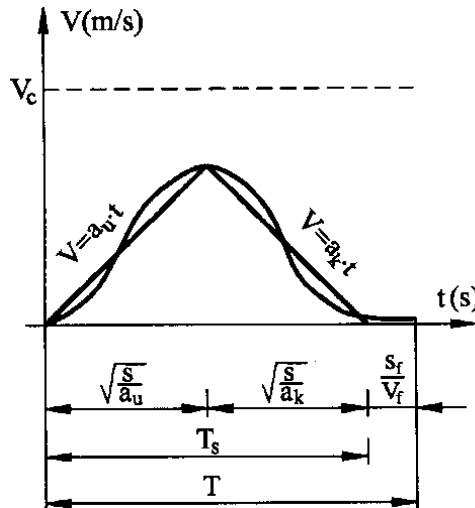
Ако се уведе просечна вредност убрзања:

$$a = 2 \cdot \frac{a_u \cdot a_k}{a_u + a_k}.$$

Пут $S(T_s)$ у (m) између две локације износи:

$$\begin{aligned}
 S(T_s) &= V_c T - \frac{V_c^2}{a} + S_f, & T \geq 2 \frac{V_c}{a} \\
 \frac{1}{4} a T^2 + S_f, & & T \leq 2 \frac{V_c}{a}
 \end{aligned}$$

Прва једначина користи се када се регална дизалица креће према дијаграму (слика 1-12), а друга када се због близине локација не достиже максимална брзина, односно када ради у нестационарном режиму (слика 1-13).



Слика 1-13. Дијаграм кретања у нестационарном режиму

1. Увод

Фина вожња се користи при подешавању виљушки дизалице према палетном месту. Аналогни су услови и код прорачуна укупног времена кретања између две локације.

$$T_s = \frac{S}{V_c} + \frac{V_c}{a} + \frac{S_f}{V_f}, \quad S \geq \frac{V_c^2}{a}$$

$$2\sqrt{\frac{S}{a}} + \frac{S_f}{V_f}, \quad S \leq \frac{V_c^2}{a}$$

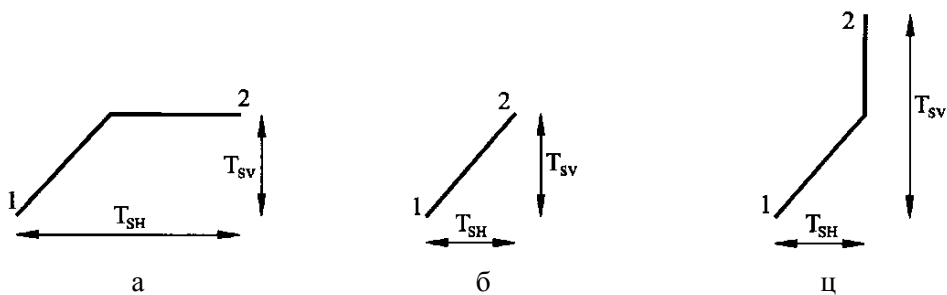
С обзиром на временску оријентацију модела, од посебног интереса је израчунавање времена T_{sh} потребног за кретање у хоризонталном смеру и времена T_{sv} за кретање у вертикалном смеру. Мередавно време кретања између две локације T_{sm} једнако је:

$$T_{sm} = T_{sh}, \quad T_{sh} > T_{sv}$$

$$T_{sv}, \quad T_{sh} < T_{sv}$$

На слици 1-14а приказан је случај код кога је $T_{sh} > T_{sv}$. Од почетног тренутка 1 па до истека времена T_{sv} регална дизалица се креће дијагонално (у хоризонталном и вертикалном смеру), а после тога хоризонтално до локације 2. На слици 1-14б приказан је гранични случај $T_{sh} = T_{sv}$ када се регална дизалица све време креће у хоризонталном и вертикалном смеру до локације 2.

На слици 1-14ц приказан је случај код кога је $T_{sh} < T_{sv}$. Од локације 1, па до истека времена T_{sh} регална дизалица се креће у хоризонталним и вертикалном смеру, а после тога вертикално до локације 2.



Слика 1-14. Кретање дизалице у хоризонталном и вертикалном смеру

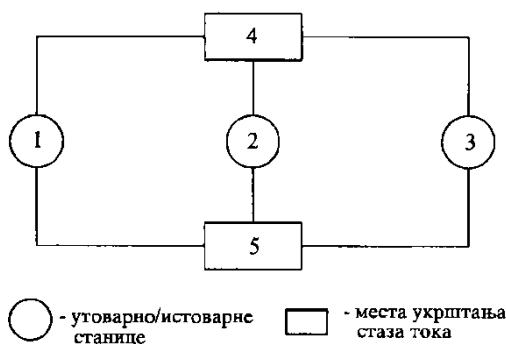
3. Одређивање потребног броја уређаја флексибилних транспортних система /Egbelu 1987/

Аналитички модел¹ за одређивање потребног броја транспортних уређаја, дат је на примеру прорачуна аутоматски управљаних колица (**AGV**). Потребан број возила зависи од следећих параметара:

- layout-а односно, распореда производне или складишне опреме у погону,
- распореда утоварно/истоварних станица,
- интензитета транспорта,
- брзине уређаја,
- стратегије отпреме возила - диспечеризације (начина додељивања задатака возилима),
- поузданости елемената транспортног система.

За одређивање потребног броја **AGV** колица потребно је формирати мрежу транспортних стаза са локацијама утоварно/истоварних станица које се опслужују (слика 1-15). Ове станице налазе се поред сваке машине, радног места за монтажу или флексибилне обрадне ћелије.

Колица саобраћају најкраћим путем између две локације. Количине материјала које је потребно пребацити између појединих локација су дате матрицом **од - до**. Раздаљине између утоварно/истоварних станица, задају се такође, матрицом **од - до**. Предпоставља се да је време утовара/истовара исто за све транспортне јединице.



Слика 1-15. Мрежа транспортних стаза

У аналитичким моделима су коришћене следеће ознаке /Bazaraa 1975/:

n - број места која се опслужују,

α_i - локација истовара (допреме) у i -том одељењу ($i = 1, 2, \dots, n$),

¹ Детаљније о моделирању флексибилних транспортних система /Косанић 1999/, /Зрнић, Косанић 2001/, /Зрнић, Савић 1997/ и др.

β_i - локација утовара (отпреме) у i -том одељењу ($i = 1, 2, \dots, n$), при чему α_i и β_i не морају бити различити
 f_{ij} - очекивани број јединица које се транспортују између одељења i и j
 T (h) - временски период у коме се разматра транспорт,
 $d(\beta_i, \alpha_j)$ - растојање између утоварне локације i -тог одељења и истоварне локације j -тог одељења у метрима,
 v (m/min) - просечна брзина колица,
 t_u (min) - просечно време утовара (ТЈ),
 t_i (min) - просечно време истовара (ТЈ),
 η - коефицијент искоришћења возила,
 t (min) - време потребно за замену батерија на возилу.

Предпоставља се да су растојања која возила прелазе без терета, да би утоварила, транспортну јединицу у некој локацији, једнака растојању која возила прелазе са теретом. Потребан број возила добија се, када се времену кретања празних и пуних возила дода време које возила проведу на утовару и истовару и овај збир подели расположивим временом рада, по следећој формули:

$$N = \frac{\frac{2}{v} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n f_{ij} \cdot d(\beta_i, \alpha_j) + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n f_{ij} (t_u + t_i)}{(60T - t)\eta}$$

1.10. Метода планирања

Метода планирања /Зрнић 1978, 1979, 1980/, треба да омогући, у процесу пројектовања, систематски прилаз избору транспортног и складишног система. Основни циљ овог поступка је следећи:

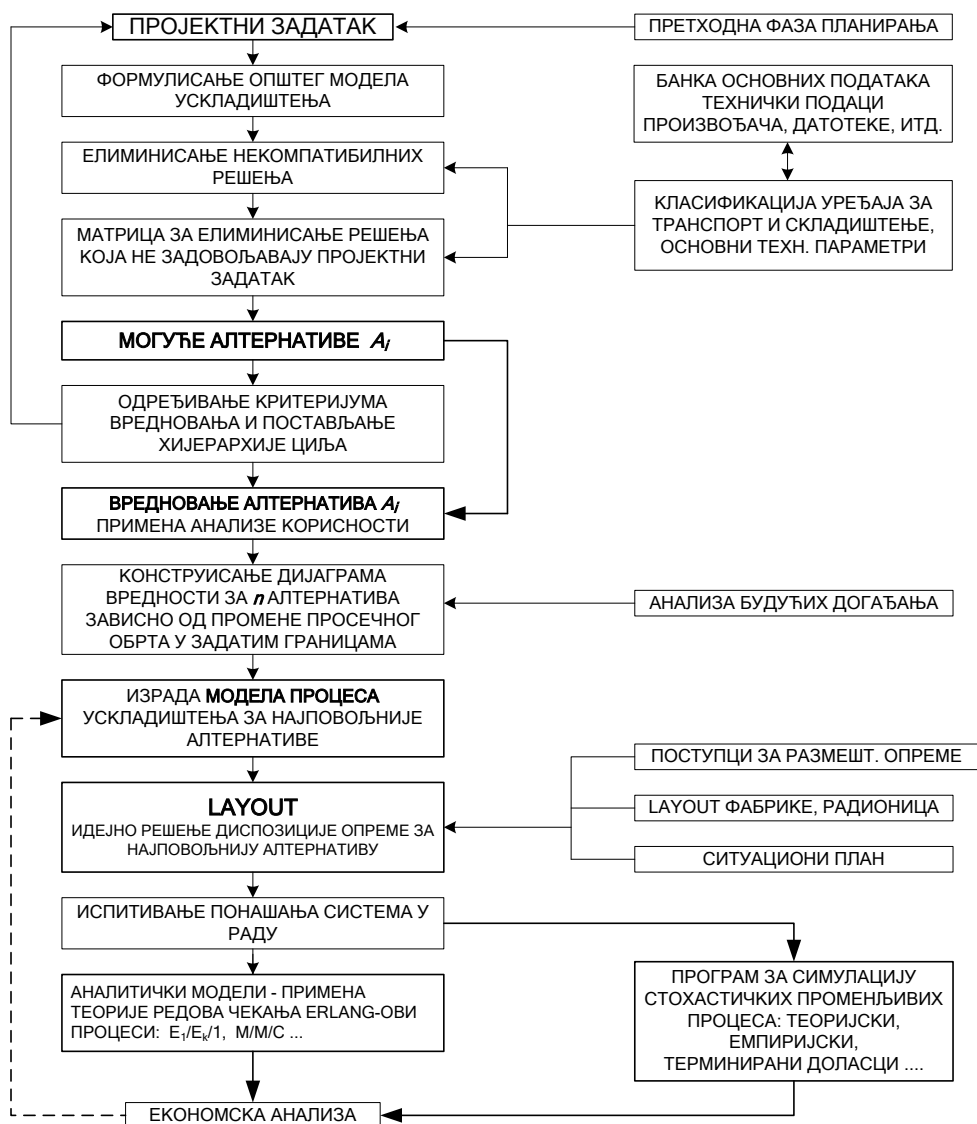
- да прикаже систем који се пројектује; систем треба да функционише према захтевима који су дефинисани пројектним задатком,
- применом различитих поступака, техника планирања и програма за рачунар, да испита техничке могућности примене разних система за транспорт и усклађивање,
- да омогући припрему података за економску анализу целикупног система који је предмет студирања.

Поступак планирања ове методе може да се подели на три основне фазе:

- формирање алтернатива,
- вредновање и избор алтернатива, и
- динамичку анализу система, за најповољније алтернативе из претходног избора.

Поступак и разрада појединих фаза у оквиру ове методе је условљен претходном фазом планирања која обухвата: дефинисање процеса, прикупљање информација, прогнозу будућих догађаја и упоређивање величина циља у техничком и економском погледу.

На слици 1-16 дати су основни кораци методе за све три фазе, на примеру избора транспортног система у процесу ускладиштења коадних материјала /Зрнић 1978/.



Слика 1-16. Избора транспортног система у процесу ускладиштења

У следећим поглављима ће се детаљно објаснити прве две фазе: формирање алтернатива и вредновање и избор алтернатива. Трећа фаза динамичка анализа система у предложеној методи укључује развијање и примену математичких модела теорије редова чекања или симулационих модела, који омогућују да се представи рад и понашање транспортног система. Примена теорије редова чекања је ограничена на стохастичке процесе који се понашају према појединим теоријским расподелама. У пракси ови модели могу да се успешно користе код решавања већег броја проблема, када интензитет протока није већи од 0,9 /Зрнић 1979/. Комплексност многих система често чини да је предвиђање њиховог рада помоћу аналитичких модела немогуће, тако да се за описивање њиховог понашања користи поступак симулације /Зрнић 1979, 1980/, /Зрнић, Савић 1997/.

Симулација представља веома користан инструмент за испитивање динамичког понашања транспортних и складишних система. Сврха ово анализе је да се предвиди рад и понашање система при задатим условима, прикажу техничке предности и недостаци разматраних алтернатива и створи детаљна подлога за економску анализу пројекта /Зрнић 1978, 1979/.

1.11. Формирање алтернатива

Прва фаза методе планирања за избор датог система обухвата формирање пројектних алтернатива, селекцију и избор могућих алтернатива за даљи поступак вредновања. Теоријски посматрајући проблем почетни систем може да се изабере из неког потенцијално бесконачног скупа. При решавању практичних проблема, скуп могућих решења је ограничен и зависи од стања технике и производње елемената који су саставни део система, могућности њиховог комбиновања и формирања одговарајућих потенцијалних система (подсистема). То значи да скуп потенцијалних решења, формираних на бази техничких и технолошких могућности и производних програма које нуди савремена индустрија, за сваки пројектни задатак садржи велики број елемената датог скупа.

Поступак за избор алтернатива је у основи хеуристички. Треба напоменути да се реализација хеуристичких процеса разликује од поступака решавања помоћу алгоритма, тако да у случају када решење постоји, решавање помоћу алгоритма увек води ка њему, а хеуристички поступак не мора да нађе решење и да одговори на постављени задатак. У случају када се ради на истраживачким процесима велике сложености, када је тешко или немогуће конструисати математички модел и када недостају неопходне и довољно тачне информације, примена хеуристичких поступака може да доведе до задовољавајућих резултата. "Са тачке гледишта теорије решења нема оштре и тачне границе између обе методе, шта више многе хеуристичке методе решавања могу да се временом формализују, добију неопходну строгост и пређу у класу строгих

решења"¹.

Хеуристичке методе решавања карактерише следеће¹:

- **Дискретност.** Хеуристички процес је дискретан; у почетном тренутку се зада неки систем величина, а у сваком следећем тренутку систем величина се добија по одређеним законима из величина добијених у претходном степену. Ови закони могу да се мењају у току хеуристичког процеса.
- **Правила и закони** који се користе у хеуристичким процесима су углавном резултат уопштавања емпиријског материјала, експерименталних података и сл.
- **Вишезначност** међуреултата је особина хеуристичког процеса као поступка истраживача; зависи од поставке сваког од примењених закона, ограничења и критеријума.
- **Селективност.** Систем величина се оцењује у сагласности са неким критеријумима и дели на два подсистема - А који задовољава и Б који не задовољава те критеријуме. У даљем поступку се подсистем Б искључује из разматрања.
- Уколико није нађено решење у оквиру задатих закона, потребно је изменити примењене законе или постављене циљеве. Уколико и то не може да помогне, сматра се да није нађено решење.

Рад на формулисању и селекцији могућих алтернатива, који се одвија у оквиру прве фазе планирања, може да се подели на пет корака:

1. корак. Обухвата формулисање општег модела фабрике, радионице, складишта и функционалну анализу система (анализу радних захтева, идентификацију основних параметара система, међузависности и ограничења. Основа за конструисање модела је шема технолошког процеса и дијаграм тока материјала. Зависно од захтева које треба да испуни систем, одбацују се функције које се не узимају у разматрање. Према функцијама које су заступљене у датом систему, формирају се одговарајућа подручја која су основа за дефинисање појединих подсистема.

2. корак. Обухвата елиминисање некомпатибилних решења. За овај поступак се користи матрица међузависности. Матрица се формира према раније дефинисаним подсистемима. Неизводљиве комбинације се искључују из даљег разматрања. На примеру складишта ће се објаснити примена матрице за елиминисање некомпатибилних решења. Капацитет складишта износи 2.000 палетних места. Истовар уређаја спољног транспорта обавља се виљушкарима. Главно складиште се налази у непосредној близини истоварне рампе. За

¹ Александров, Е.А.: Основы теории эвристических решений, Москва 1975.

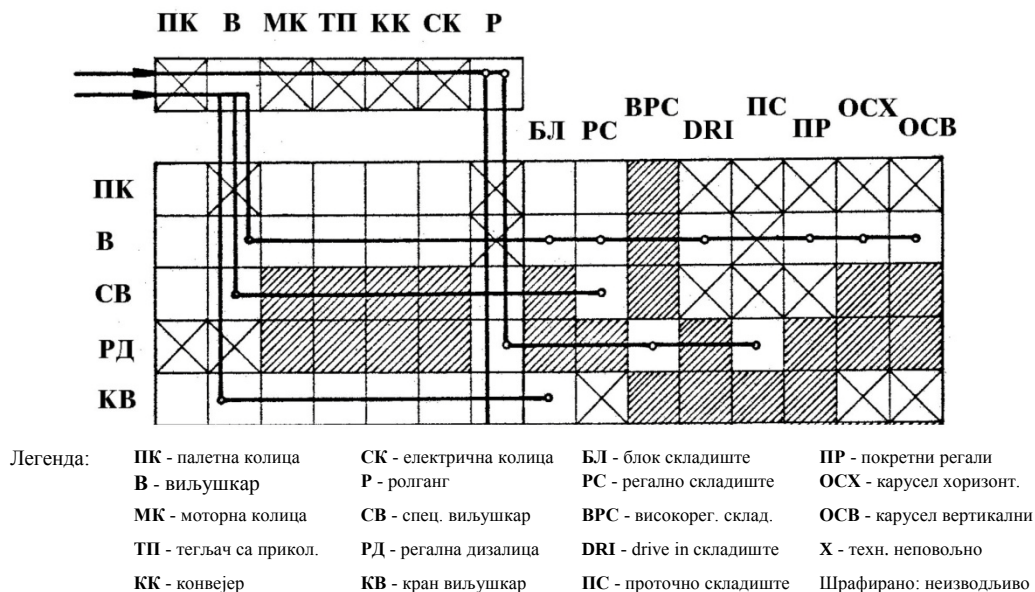
1. Увод

преношење терета се користе палете (ТЈ) димензије 800 x 1.200 mm. Формирају се матрице подсистема за пријем робе и главног складишта. На основу техничких података за поједине типове транспортних уређаја елиминишу се неизводљиве комбинације и нелогична решења. Од 280 (7 x 5 x 8) могућих комбинација за процес ускладиштења, добија се 10 могућих решења, означених на слици 1-17.

3. корак. Код комплексних проблема може да се изврши издвајање појединих подсистема и да се у даљем току посебно вреднују (нпр. одељење за бојење, главно складиште, одељење за паковање итд.).

4. корак. Формира се матрица за елиминисање решења која не задовољавају пројектни задатак. За овај поступак користи се Simon-ово правило. Критеријуми вредновања K_{ej} су одређени у процесу дефинисања пројектног задатка. Основни технички параметри, који су разрађени за могуће варијанте решења користе се за одређивање вредности елемената n_{ij} матрице циља. На слици 1-18 је приказана матрица за претходно наведени пример.

5. корак. У овом кораку треба да се одреде могуће алтернативе A_i за даљи поступак вредновања који се одвија у другој фази ове методе. Узимају се у разматрање алтернативе код којих је у свим критеријумима вредновања задовољавајуће испуњење циља ($N_i = 1$).



Слика 1-17. Десет могућих решења

Неопходни технички подаци за анализу и вредновање појединих алтернатива добијају се из каталога, понуда, база података и друге техничке

документације произвођача опреме (формира се банка основних података). При томе је потребно израчунати поједине параметре који се користе у поступку вредновања и избору алтернатива.

ЗАХТЕВАНИ КРИТЕРИЈУМИ			АЛТЕРНАТИВЕ СКЛАДИШТЕЊА										
			БЛ		РС		ВРС	DRI	ПС		ПР	ОСХ	ОСВ
			В	КВ	В	СВ	РД	В	РД	В	В	В	В
капац. склад.	K_{e1}	2.000 ПМ	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
дименз. палете	K_{e2}	800 x 1.200	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
капац. претов.	K_{e3}	38+38 p/h	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
$A_u \text{ max}$	K_{e4}	1.400 m ²	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	
H_{max}	K_{e5}	15 m	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
приступ ПМ	K_{e6}		0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	
FIFO	K_{e7}		0	0	1	1	1	0	1	1	1	1	
N_i			0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	

Слика 1-18. Матрица за претходно наведени пример

1.12. Избор алтернатива у процесу пројектовања

1.12.1. Избор и вредновање система

При пројектовању фабрика, транспортних и складишних система пројектант се често суочава са потпуно опречним утицајним факторима, тако да је веома значајно проценити који од њих преовлађује у појединачној ситуацији која се разматра. Ако утицајни фактори нису прецизно процењени, постоји могућност да се усвоји неко нерационално решење. Поставља се питање каква техничка и економска решења узети у обзир и који тип опреме усвојити при тражењу оптималних услова рада.

Данашње стање технике карактерише се сталним развојем машина, транспортних уређаја и система који су углавном већ дуго времена познати. Ово стање технике чини основу за планирање и пројектовање система. Из познатих техничких и организационих елеменасста морају се тражити одржива решења која дају добар распоред опреме, рационални ток кретања материјала кроз процес, смањење радне снаге, малу потрошњу енергије, висок степен искоришћења простора и заштиту животне средине.

При разматрању сваког проблема формирања распореда опреме (plant layout) и кретања материјала, уочава се да постоји велики број алтернатива које су технички остварљиве. Проблем се састоји у томе да се из скупа могућих решења изабере такво, које најбоље испуњава техничке и економске услове дате пројектним задатком. За решење овог проблема потребно је развити

поступак за класификацију алтернатива, што изискује неки изборни поступак, а самим тим и одређивање вредности према којима ће да се спроведе избор.

У основи могу да се разликују два начина избора неког система:

- према интуицији, и
- према формалним правилима решавања.

У првом случају критеријуми меродавни за избор се добијају размишљањем једне или више особа које учествују у процесу одлучивања. Алтернативе се разматрају и оцењују међусобно према изабраном критеријуму и на тај начин долази до решења. Овакав поступак избора је једноставан, универзалан и омогућује брзо доношење одлуке. Решење зависи од комплексности проблема и квалитета учесника у одлучивању.

У другом случају се полази од утврђеног операционог модела који описује проблем одлучивања кроз шеме, блок дијаграме, алгоритме или рачунске поступке. Такав модел постоји у рачунским поступцима операционих истраживања, који проблем избора поставља према сасвим одређеним факторима који су значајни за одлучивање. При одлучивању са таквим моделом се добија делимична оптимизација, која може да буде довољна за доношење одлуке. Када се разне варијанте решења вреднују само према једном критеријуму, на пример минимални трошкови, максимална добит, итд., тада је довољно средити алтернативе с обзиром на захтеване критеријуме. Алтернатива са највећим степеном ранга представља решење за избор. У пракси су одлуке за избор помоћу једног критеријума за одлучивање ипак ретке. У већини случајева се захтева велики број различитих критеријума у поступку вредновања и избора.

Код решавања сваког проблема могу да буду различити број и врста критеријума, зависно од одговарајућих одлука и информација које стоје на располагању. У процесу одлучивања се критеријуми постављају према њиховом приоритету. Пошто се оваквим утврђивањем утиче на резултат истраживања, неизбежно је познавање хијерархије критеријума одлучивања. При томе, само разматрање свих релевантних критеријума омогућава одговарајући избор.

У литератури је развијен низ поступака за анализу при инвестиционом одлучивању на основу економских критеријума (нпр. добит, итд.), који се монетарно исказују. Када се анализира велики број могућих алтернатива, а нарочито код решавања комплексних проблема као што су кретање материјала, складиштење или формирање layout-a, у почетној фази пројектовања један детаљан економски рачун је често недостижан и не може увек да буде једини меродаван критеријум при одлучивању за избор најповољније алтернативе. У

том случају су потребни поступци помоћу којих се узимају у обзир критеријуми циља појединих пројектних алтернатива и могу да обухвате целокупну вредност пројекта. Јасно је да се бољи резултати добијају коришћењем интегралних операционих правила која узимају у обзир већи број критеријума.

Избор и вредновање система према произвољно изабраним критеријумима даје веће могућности при избору, јер се расчлањавањем може да дође до разних критеријума, а не само инвестиционих и експлоатационих трошкова. Приказани преглед критеријума обухвата само структуру особина, тј. њихов број и врсту, не правећи разлику о редоследу ранга појединих особина. За процену свих особина, мора се извући конфигурација која означава међусобну тежину појединих особина. Конфигурација може да се постави према одговарајућим приоритетима одлучивања (субјективна конфигурација), или нпр. према тржишту (објективна конфигурација). При томе, треба напоменути да се свака особина код разних алтернатива налази на различитом нивоу.

Основа оваквог мултидимензионалног система циља почива на закону моделирања. Овакав модел се назива у литератури модел вредности корисности (utility, Nutzwert) и служи као помоћно средство за систематску анализу при одлучивању, када треба да се разматра велики број критеријума који су важни за одлуку. De Neufille наводи: "Концепт корисности представља мерење суштинских вредности, за онога који одлучује, једног посебног исхода" /De Neufille 1974/.

Посебна карактеристика овог модела је, да се вредност пројекта не одређује само на основу стварних објективних информација у односу на значај достизања циља пројектних алтернатива, већ да се једновременно узимају и субјективне информације. Снага одлучивања је једно персонално својство и сваки приступ решавању проблема ће бити обојен са индивидуалним карактеристикама. При томе треба напоменути да на избор много може да утиче аналитички или институцијални механизам који је употребљен за стварање алтернатива.

Субјективни утицаји могу да наступе код следећих корака вредновања:

- избора критеријума вредновања,
- међусобне тежине критеријума,
- избора алтернатива које се вреднују,
- класификације вредности за немерљиве величине,
- одређивања вредности појединих варијанти у односу на критеријум.

Код решавања сваког проблема могу да буду различити број и врста критеријума, зависно од одговарајућих одлука и информација које стоје на

располагању. У процесу одлучивања се критеријуми постављају према њиховом одговарајућем приоритету. Пошто се оваквим утврђивањем утиче на резултат свих даљих истраживања, неизбежно је познавање хијерархије критеријума одлучивања. При томе, само разматрање свих релевантних критеријума омогућава одговарајући избор. Weigel даје преглед критеријума од којих ће неки значајнији да буду наведени /Weigel 1974/:

- **Технички критеријуми** - опрема, врста робе, интензитет тока, начин транспорта (континуални, дисконтинуални), растојање, протоварни уређаји, утицај квалитета, време, итд.).
- **Економски критеријуми** - инвестициони трошкови, експлоатациони трошкови, итд.
- **Критеријуми условљени системом** - врста транспортне јединице, капацитет, учестаност транспорта, услови рада, одржавање уређаја, степен аутоматизације, врста енергије, итд.
- **Општи критеријуми** - разни прописи (нпр. екологија и сл.), гаранције, сервиси, флексибилност у раду, време испоруке, итд.

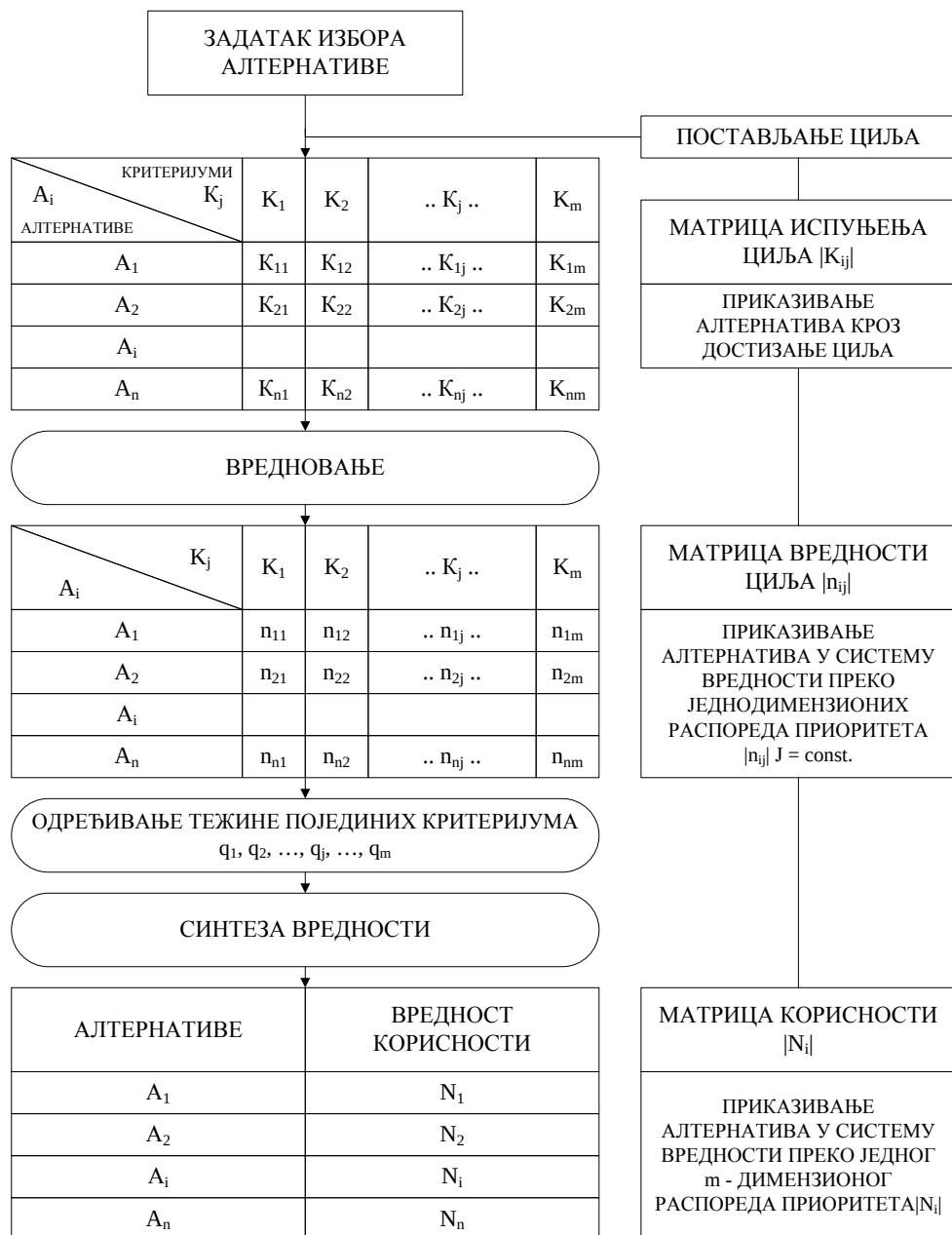
Анализа вредности корисности је метода планирања, која служи за систематску припрему одлучивања и при томе треба напоменути да модели корисности не смеју да се разматрају као замена осталим моделима, већ као значајна допуна осталих модела, који служе да систематску надградњу проблематике одлучивања, при избору појединих алтернатива комплексних пројеката.

1.12.2. Анализа корисности

Zangemeister /1971/ даје следећу дефиницију: *"Анализа корисности је анализа једног броја комплексних алтернатива у циљу њиховог сређивања према одговарајућем приоритету одлучивања у односу на неки мултидимензионални систем циља"*.

Анализа корисности је поступак вредновања, који успоставља израз за вредност неке алтернативе решења у упоређивању према другој у процесу избора између постојећих алтернатива. Предност овог поступка је у томе да није ограничен број и врста критеријума према којима треба да се врши избор. Поред техничких захтева могу и економски, технолошки или неки други посебни утицаји да се узму у обзир, тако да постоји могућност да поступак вредновања обухвати и неке специфичне захтеве постављеног задатка. Треба напоменути да вредност корисности неке алтернативе није сама себи циљ и може да се исказе само у упоређењу са вредностима корисности осталих алтернатива које су вредноване.

Целокупан поступак вредновања мора да се подели у кораке делимичног вредновања. Предложени поступак /Zangemeister 1971, 1976/ приказан је на слици 1-19.



Слика 1-19. Поступак вредновања

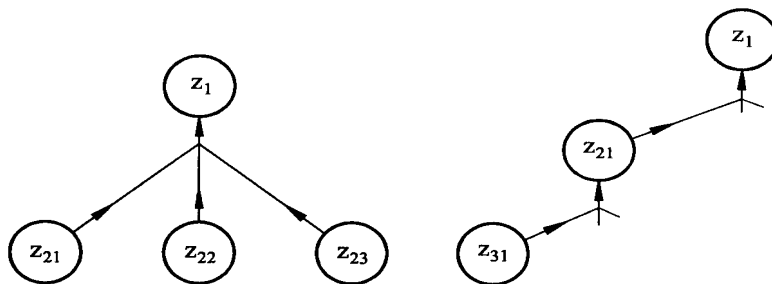
Ако у процесу одлучивања треба да се изврши избор између n различитих алтернатива A_i ($i = 1, 2, \dots, n$) и за оцену ових алтернатива учествује m критеријума K_j ($j = 1, 2, \dots, m$), за систематско спровођење ове анализе су потребни следећи кораци:

- одређивање циља, тј. критеријума K_j , $j=1, 2, \dots, m$ (мултидимензионални систем циља),
- приказивање алтернатива кроз достизање циља; формирање матрице испуњења циља (K_{ij}) алтернатива A_i ,
- приказивање алтернатива у систему вредности преко m - једнодимензионалних распореда приоритета: формирање матрице вредности циља (n_{ij}), $j = \text{const.}$,
- анализа међусобне независности критеријума матрице вредности циља (n_{ij}),
- приказивање алтернатива у систему вредности преко једног m - димензионалног распореда приоритета: формирање матрице вредности корисности (N_i) (синтеза вредности).

Овај поступак условљавају три основне претпоставке:

- постављени критеријуми циља K_j за вредновање су међусобом независни,
- добијени приоритетни распоред је сталан, тј. додавањем или одузимањем алтернатива се не мења распоред приоритета, и
- функција укупне корисности је линеарна, монотono растућа функција делимичних корисности.

Први корак анализе корисности је постављање критеријума циља. Основа за ово је дата у раније наведеном прегледу критеријума. Све што је меродавно за одлуку избора, односно остварење датог циља, треба описати помоћу одговарајућих критеријума. При томе се поставља хијерархијска структура система циља. Један овакав распоред укључује претпоставку, да се горњи циљ постиже испуњавањем доњих циљева (слика 1-20).



Слика 1-20. Хијерархијска структура циља

Други корак је припрема за дефинисање једнодимензионалног вредновања. Треба одредити достизање циља K_{ij} за различите алтернативе A_i у сваком постојећем критеријуму. Достизање циља може да се формулише вербално или нумерички и дато је у матрици испуњења циља (K_{ij}).

У **трећем кораку** вредновања, кроз упоређење испуњења циља између појединих варијанти решења, за сваки критеријум захтева се добијање вредности циља n_{ij} . Да би се приступило таквом вредновању алтернатива представљених у матрици, прво се налази једнодимензионални редослед приоритета, при чему могу да послуже различити типови скала. Са оваквим начином се један мултидимензионални проблем вредновања дели у m једнодимензионалних делимичних вредновања, као што се у пракси на исти начин чини код комплексних вредновања. За добијање једнодимензионалног реда приоритета мора да се одмери међусобно достизање циља појединих алтернатива у односу на критеријуме захтева и да се среди по закону приоритета. Одмеравање вредности треба да произлази из тога, да се бројеви којима се мере објекти могу лако да уреде, да одређене релације између објеката одговарају аналогним релацијама између бројева. При томе, могу да се употребе скале, које се међу собом разликују на основу бројева којима су изражене особине (идентитет, распоред ранга, сабирљивост) /Zangemeister 1971/:

- номинална скала,
- ординална скала,
- интервална скала, и
- скала односа (кардинална скала).

1.12.3. Избор типа скале

Номинално скалирање. Предузета је подела у еквивалентне класе које су означене именима или бројевима. Припадност истој класи не значи исту корисност. Користи се за грубо вредновање, нарочито код претходног избора алтернатива.

Ординално скалирање. Вредност алтернативе A_1 према алтернативи A_2 у односу на критеријум K_j може да буде: $A_1 > A_2$. Ординално скалирање може да се предузме на два начина:

- поступак редоследа ранга: истовремено вредновање свих алтернатива у односу на један критеријум
- поређење парова: служи за добијање реда ранга код анализе n алтернатива у односу на један критеријум. Пример за анализу четири алтернативе дат је на слици 1-21.

$i \backslash h$	A_1	A_2	A_3	A_4
A_1	-	0	1	0
A_2	1	-	1	0
A_3	0	0	-	0
A_4	1	1	1	-
Σh	2	1	3	0
Rang R_h	2	3	1	4

Слика 1-21. Анализа четири алтернативе

Ако је:

$$\begin{aligned}
 A_h &> A_i \ (i \neq h) & e_h &= 1, n \\
 A_h &< A_i \ (i \neq h) & e_h &= 0 \\
 i &= 1, 2, \dots, n; & h &= 1, 2, \dots, m.
 \end{aligned}$$

где је редослед ранга дат изразом (в. слику 1-21): $R_h = n - \sum_{i=1}^n e_h$

Интервално скалирање. Користи једнакост и разлику интервала (разлика вредности). Могу да се упоређују само односи разлика вредности циља. Јединица скале и нулта тачка су променљиве. Dean и др. дају "Scoringmodel" /Dean, Nishiry 1965/. Вредност циља једне алтернативе се добија кроз поступак "raiting"-а.

Скалирање односа. Утврђени су нулта тачка и јединица скале, тако да се вредности циља могу директно да упоређују. Ток вредности циља може да се добије преко функције вредности. Zangemeister даје преглед типичних вредности циља /Zangemeister 1971/. Скалирање односа може да се изврши методом "сукцесивне апроксимације" /Churchman, Ackoff 1954/. Ова метода је погодна за одређивање тежине појединих критеријума.

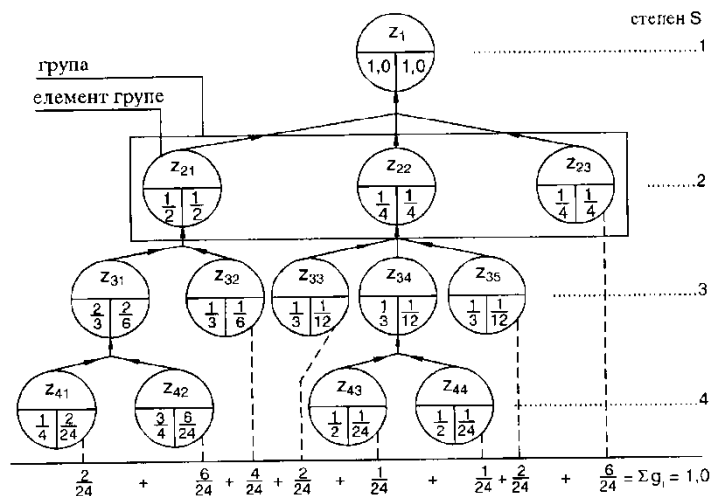
1.12.4. Одређивање тежине критеријума

Избор алтернатива зависи од два типа мера:

- вредности алтернативе у једнодимензионалном распореду приоритета n_{ij} , и
- значају или тежини појединих критеријума g_j .

Фактори тежине су константни фактори размере критеријума K_j , нпр. колико јединица које испуњавају вредности n_{i1} критеријума K_1 су еквивалентни јединицама вредности n_{ij} , критеријума K_2 . За класификацију фактора тежине

морају да се узму у обзир једновременно сви критеријуми вредновања. Фактори тежине се сређују на тај начин, што се процењује значај сваког критеријума, а касније се вредности све више побољшавају sukcesивном коректуром. За одређивање тежине појединих критеријума користи се хијерархијска структура система циља /Weigel 1974/, слика 1-22.



Слика 1-22. Одређивање тежине појединих критеријума

Основу за добијање критеријума према којима треба да се вреднују алтернативе и изврши избор, чине захтеви пројектног задатка. Полазећи од основног критеријума првог степена, тежине појединих елемената у другом степену се одређује методом sukcesивне апроксимације. На исти начин се одређују тежине елемената сваке групе у следећим корацима. За процес вредновања се узимају критеријуми који чине крајњи степен у хијерархији циља.

При одређивању тежине појединих критеријума, треба да буду задовољени следећи услови:

- збир тежина појединих елемената сваке групе у једном степену износи 100 %,
- тежина критеријума се рачуна из производа тежина појединих елемената одговарајућег критеријумског низа

$$g_{js} = \prod_{i=1}^s Gg_j$$

- збир тежина свих критеријума који се налазе у последњем степену хијерархијског ланца износи 100 %,

$$\sum_{j=1}^m g_j = 1,0$$

1.12.5. Метода сукцесивне апроксимације

Поступак /Churchman, Aschoff 1954/ који се користи за одређивање тежина појединих критеријума у литератури се назива метода сукцесивне апроксимације. Дата је општа формулација овог поступка. Прво се критеријуми вредновања K_j распореде према степену њиховог значаја у један ред:

$$K_1 > K_2 > \dots > K_m$$

Овај редослед ранга одговара распореду тежина критеријума

$$g'_1 > g'_2 > \dots > g'_m$$

Нека g'_1 представља тежину најзначајнијег критеријума, g'_2 тежину следећег по значају и g'_m , тежину најмање важног критеријума. Тежини g'_1 се даје вредност 1,0 ($g'_1 = 1,0$) и онда се означе вредности тежина које одговарају осталим критеријумима. Затим се упоређују вредности g'_1 са $g'_2, g'_3, \dots, g'_m$. Ако је:

$$g'_1 \geq g'_2 + g'_3 + \dots + g'_m,$$

онда се упоређује вредност g'_2 са $g'_3, g'_4, \dots, g'_m$ и даље поступа као у претходном степену.

$$\text{Ако је } g'_1 < g'_2 + g'_3 + \dots + g'_m,$$

онда се упоређује вредност g'_1 , са $g'_2, g'_3, \dots, g'_{m-1}$. Уколико је:

$$g'_1 \geq g'_2 + g'_3 + \dots + g'_{m-1},$$

даље се поступа као у првом степену. Ако је $g'_1 < g'_2 + g'_3 + \dots + g'_{m-1}$ онда се упоређује вредност g'_1 са вредностима $g'_2, g'_3, \dots, g'_{m-2}$, итд., све док је величина g'_1 већа од остатка, односно док се не упореде вредности g'_{m-2} са $g'_{m-1} + g'_m$. У даљем поступку се свака вредност g'_j претвара у стандардну вредност g_j , делећи је са $\Sigma g'_j$ и онда ће Σg_j свих тежина критеријума да буде једнака 1,0.

$$g_j = \frac{g'_j}{\sum_{j=1}^m g'_j} \quad \text{и} \quad \sum_{j=1}^m g_j = 1,0$$

1.12.6. Синтеза вредности

Вредновање пројектних алтернатива према појединим критеријумима вредновања даје m једнодимензионалних редова приоритета, који у општем случају одступају један од другог. Кроз синтезу вредности се постављају заједно једнодимензионални распореди приоритета према правилима одлучивања на један логичан и оперативни начин, да би се добила укупна вредност корисности, која даје потпуни распоред приоритета појединих

алтернатива. Поступак синтезе вредности се дели према одговарајућим методама једнодимензионалног вредновања.

Синтеза вредности код **номиналног** распореда приоритета треба да утврди ниво одговора за поједине критеријуме. Ако је у свим димензијама вредности задовољавајуће достизање циља, тада једна алтернатива у потпуности задовољава. У већини случајева у пракси, ова метода није довољна, зато што не даје распоред ранга алтернатива. Поступак је погодан за претходни избор и селекцију алтернатива које се искључују из даљег разматрања. Формално се овај поступак (правило Симон-а) може написати:

$$N_i = 1 \quad \text{када је} \quad \sum_{j=1}^m n_{ij} = m, \text{ и}$$

$$N_i = 0 \quad \text{када је} \quad \sum_{j=1}^m n_{ij} < m,$$

где је:

$n_{ij} = 1$, када алтернатива A_i задовољава критеријум K_j и

$n_{ij} = 0$, када алтернатива A_i не задовољава критеријум K_j ,

где је:

n_{ij} елемент матрице вредности циља, а

N_i вредност корисности алтернативе i .

Вредност корисности код **ординалног** распореда приоритета се израчунава из израза:

$$N_i = \sum_{j=1}^m (n + 1) - R_h,$$

где је:

n - број алтернатива који се разматра,

R_h - редослед ранга у односу на један критеријум,

$j = 1, 2, \dots, m$ - индекс критеријума.

Вредност корисности код интервалног скалирања се израчунава из израза /Dean, Nishry 1965/:

$$N_i = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (n_{ij} - n_{kj})$$

где је:

$i = 1, 2, \dots, k, \dots, n$ - индекс алтернативе, а

$j = 1, 2, \dots, m$ - индекс критеријума,

n_{ij}, n_{kj} - елементи матрице вредности циља.

Код синтезе вредности са **кардиналним** распоредом приоритета (скалирање

односа) се користи адиционо правило са апсолутно фиксираним скалама вредности циља. Приоритетни распоред алтернатива се базира на једној скали односа, код којих је јединица вредности корисности једнака јединици индивидуалних скала вредности циља. Вредност корисности N_i се рачуна из збира врсте, елемената матрице вредности циља.

$$N_i = \sum_{j=1}^m n_{ij}$$

Ако се узму у обзир тежине појединих критеријума g_j , тада важи израз:

$$N_i = \sum_{j=1}^m g_j \cdot n_{ij}$$

1.13. Примена вишекритеријумске анализе у процесу избора палетног складишта

Поступак вредновања и избор појединих алтернатива који се одвија у оквиру ове методе може да се подели на пет корака:

1. корак. Обухвата добијање критеријума вредновања, односно постављање хијерархије циља. При томе је потребно испитати да ли постоји директна зависност између појединих критеријума. У случају директне зависности два критеријума, који стоје у одређеном односу један према другом, одвојено вредновање може да доведе до погрешних резултата вредности корисности.

Постављање хијерархије циља, односно хијерархије захтева, приказано је на примеру избора палетног складишта (слика 1-23). Хијерархијска структура је овде дата у три степена, тако да у трећем степену има 18 критеријума за вредновање. Потребно је напоменути, да хијерархијска структура циља, наведени критеријуми и број критеријума, могу да се мењају зависно од пројектног задатка. Примењени критеријуми су подељени на пет група: капацитет транспорта, техничко решење складишта, layout зграде, економски утицаји и остали утицаји. Значај појединих критеријума утиче на одређивање њихове тежине. Тежина критеријума се одређује методом "суксецивне апроксимације". На слици 1-24 дати су критеријуми са њиховим тежинама, које су изражене у процентима.

2. корак. Овај корак служи као припрема за даљи поступак вредновања алтернатива које могу да испуне техничке захтеве, а тиме и пројектни задатак. Формира се матрица испуњења циља (K_{ij}), у којој се приказују алтернативе

добијене у претходној фази вредновања, кроз достизање циља у сваком постојећем критеријуму. Испуњење циља појединих пројектних алтернатива треба да покаже шта може да пружи једно складиште у односу на поједине захтеве. Износи испуњења циља K_{ij} имају различите димензије и за сваки пројектни задатак могу да имају различите величине. Испуњење циља може да се формулише вербално или нумерички.

3. корак. Обухвата формирање матрице вредности циља (n_{ij}), $j = \text{const.}$, у којој се приказују алтернативе у систему вредности преко m једнодимензионалних распореда приоритета. Кроз упоређење испуњења циља појединих алтернатива за сваки критеријум захтева, добијају се вредности елемената матрице циља n_{ij} . На овај начин се мултидимензионални проблем вредновања претвара у m једнодимензионалних делимичних вредновања. Уводи се једна бездимензионална, апсолутно фиксирана скала, за сваки критеријум вредновања. Вредности скале иду од 0 до 10. У даљем поступку се одређује редослед приоритета појединих алтернатива за сваки захтевани критеријум. Вредности појединих алтернатива се одређују, за сваки критеријум, на основу пројектног задатка и претходно израчунатих основних техничких параметара. Код критеријума који могу да се квантификују, ток вредности може да се прикаже преко једне аналитичке функције. Вредности алтернатива код немерљивих критеријума се приказују табеларно. Треба напоменути, да при одређивању вредности алтернатива, код појединих критеријума постоји велики субјективни утицај учесника у одлучивању. На сликама 1-25 и 1-26 дат је преглед појединих критеријума, а на слици 1-27 изглед матрице (n_{ij}) за наведени пример.

4. корак. Представља синтезу вредности. Формира се матрица корисности N_i , слика 1-28. Алтернативе се приказују у систему вредности преко једног m - димензионалног распореда приоритета. Вредност корисности у наведеном примеру добија се из израза:

$$N_i = \sum_{j=1}^{18} g_j n_{ij}$$

5. корак. Конструирају се дијаграми вредности (N_i) за n алтернатива, зависно од промене просечног обрта складишта ($p_i - p_j$). Ови дијаграми сликовито приказују промену вредности корисности појединих алтернатива при измењеним условима рада складишта. Поступак наведен у овом кораку није предвиђен у теоријској анализи добијања вредности корисности. Његова примена омогућује да се предвиди понашање система и испитају алтернативе у односу на промену експлоатационих услова. /Зрнић 1978/. На формулисање овог корака утиче анализа будућих догађаја, која је извршена у претходној фази планирања.

1. Увод

У примеру је дат поступак избора складишта капацитета 2.000 палетних места, задатог капацитета претовара 38 + 38 pal/h (улаз + излаз). Разматране су алтернативе за ускладиштење у регалним (РС) и високорегалним (ВРС) складиштима. На слици 1-29 приказана је вредност корисности алтернатива $A_1 - A_4$, зависно од пораста просечног обрта (p):

A_1 - РС, $X = 7,5$ m, опслуживање виљушкарима,

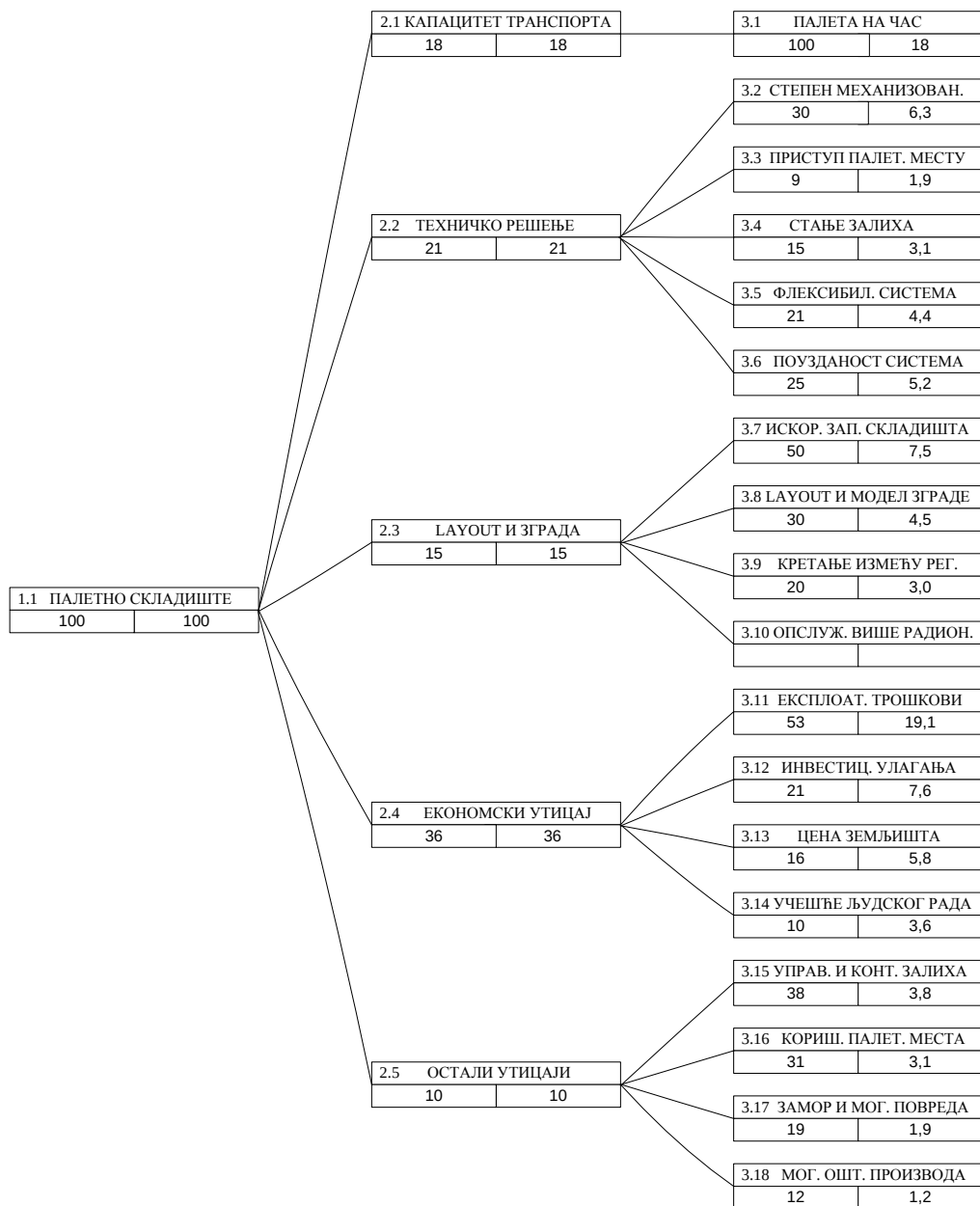
A_2 - РС, $X = 10,5$ m, опслуживање специјалним виљушкарима (turret truck),

A_3 - ВРС, $X = 10,5$ m, опслуживање регалним дизалицама, и

A_4 - ВРС, $X = 15$ m, опслуживање регалним дизалицама.

1. степен	2. степен	3. степен
1.1. пројекат палетног складишта	2.1. капацитет транспорта	3.1. палета на час
	2.2. техничко решење	3.2. степен механизованости
		3.3. приступ палетном месту
		3.4. стање залиха појединих артикала
		3.5. флексибилност система
		3.6. поузданост система
	2.3. layout и зграда	3.7. искоришћење запремине складишта
		3.8. layout и модел зграде
		3.9. кретање између регала
		3.10. опслуживање више радионица
	2.4. економски утицај	3.11. трошкови експлоатације
		3.12. инвестициона улагања
		3.13. цена земљишта
		3.14. учешће људског рада
	2.5. остали утицаји	3.15. управљање и контрола залиха
		3.16. коришћење палетних места
		3.17. замор и могућност повреда
		3.18. могућност оштећења производа

Слика 1-23. Постављање хијерархије циља



Слика 1-24. Критеријуми са њиховим тежинама израженим у процентима

1. Увод

K₂ СТЕПЕН МЕХАНИЗОВАНОСТИ	V_r
РД (управљање "online")	10
РД (управљање са конзоле)	7
СВ (са вођењем кроз ходник)	6
В виљушкар	5
ПК палетна колича	2

K₃ МОГУЋНОСТ ДИРЕКТНОГ ПРИСТУПА ПАЛЕТНОМ МЕСТУ (ПМ) У ОДНОСУ НА УКУПАН БРОЈ ПМ	V_r
РС, ВРС (100 %)	10
ПР, ОСВ, ОСХ	7
ПС, ДРИ (10 - 20 %)	4
БС БЛОК СКЛАДИШТЕ	1

K ₄ УТИЦАЈ СТАЊА ЗАЛИХА ПОЈЕДИНИХ АРТИКАЛА НА ИЗБОР РЕШЕЊА СКЛАДИШТА		V _r
МАЛО ВРС	ВЕЛИКО ВРС, ПС	10
РС	РС, ОСВ, ОСХ, ПР	8
ОСВ, ОСХ, ПР	ДРИ	6
ДРИ, ПС		4
	БЛ	2
БЛ		1

K₅ ФЛЕКСИБИЛНОСТ СИСТЕМА	V_r
В	10
СВ	8
РД (МОГУЋНОСТ ПРОШИРЕЊА)	7
РД, КРАН ВИЉУШКАР	4
СПЕЦ. СИТЕМИ ЗА УСКЛАДИШТЕЊЕ	1
Код рада у 2. смене уређаја са батеријским погоном вредност умањити за 1	

K₆ ПОУЗДАНОСТ СИСТЕМА	V_r
Отказивање 1. уређаја капацитет смањује за	
100 %	2
50 %	5
30 %	7
20 %	9
10 %	10
За РД и СВ вредност умањити за 1, код рада у 2. смене за ПК, В и СВ , вредност умањити за 1	

K₈ УКЛАПАЊЕ LAYOUT-А У ОСНОВНИ МОДУЛ ЗГРАДЕ	V_r
Потпуно	10
Повећање површине за 10 %	7
Повећање површине за 20 %	2
Повећање површине више од 20 %	0

K₉ КРЕТАЊЕ ИЗМЕЂУ РЕГАЛА	V_r
РД, СВ	10
В	8
В (двосмерни саобраћај)	5
Бр. В, СВ већи од бр. ходника - 20 %	2
Бр. В, СВ мањи од бр. ходника - 30 %	0

K₁₀ ДИРЕКТНО ОПСЛУЖИВАЊЕ ВИШЕ РАДИОНИЦА	V_r
ВРС директно опслужује радионице у вишеспратним зградама или више радних места	10
Транспорт до радног места	6
В у комбинацији са лифтом	3
ПК у комбинацији са лифтом	1

K₁₄ БРОЈ РАДНИКА У СМЕНИ	V_r
1	10
2	8
3 - 4	6
5 - 6	4
7 - 10	2
11 и више	0

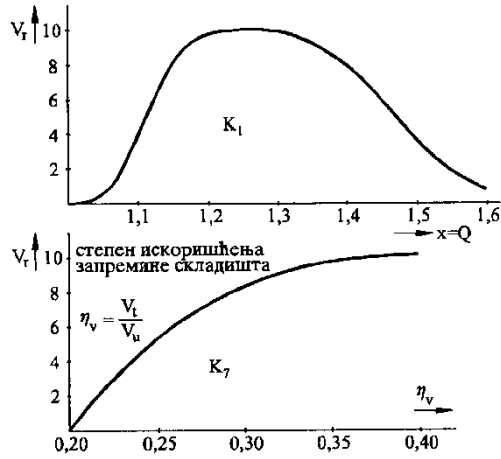
K₁₅ УПРАВЉАЊЕ СКЛАДИШТЕМ И КОНТРОЛА ЗАЛИХА	V_r
Online	10
Offline	8
Ostali sistemi	5

K₁₆ ЛОКАЦИЈЕ КОЈЕ СЕ КОРИСТЕ	V_r
ВРС, РС, ПР, ОСВ, ОСХ 100 %	10
ПС, БЛ 70 %	6
ДРИ 60 %	5

K₁₇ ЗАМОР И МОГУЋНОСТ ПОВРЕДЕ	V_r
ВРД (online)	10
ВРД (управљање са конзоле)	8
СВ	6
В	4
ПК	1

K₁₈ МОГУЋНОСТ ОШТЕЋЕЊА ПРОИЗВОДА	V_r
Мин. ВРС, РС, ПР, ОСВ, ОСХ	10
Нормална ПС	7
Велика БЛ, ДРИ	1

Слика 1-25. Преглед појединих критеријума



Слика 1-26. За дефинисање функције циља могу да се користе аналитичке функције

Рад у једној смени

K_j	A_i	K_1	K_2	K_3	K_4	K_5	K_6	K_7	K_8	K_9	K_{10}	K_{11}	K_{12}	K_{13}	K_{14}	K_{15}	K_{16}	K_{17}	K_{18}	P	X^*	R
A_1		9	5	10	8	10	8	2	10	8		10	10	1	2	5	10	4	10	35	7,18	4
		9	5	10	8	10	9	2	10	8		10	10	1	2	5	10	4	10	40	7,24	4
A_2		9	6	10	8	8	8	7	10	10		4	7	8	2	5	10	6	10	35	7,53	2
		8	6	10	8	8	9	7	10	10		1	6	8	2	5	10	6	10	40	7,29	3
A_3		10	7	10	10	7	4	9	10	10		1	1	8	6	5	10	8	10	35	7,41	3
		8	7	10	10	7	4	9	10	10		2	1	8	6	5	10	8	10	40	7,35	2
A_4		10	8	10	10	4	4	10	10	10		5	3	10	8	8	10	10	10	35	8,24	1
		9	8	10	10	4	4	10	10	10		6	3	10	8	8	10	10	10	40	8,24	1
$g\%$		18	6,3	1,9	3,1	4,4	5,2	7,5	4,5	3,0	0	19,1	7,6	5,8	3,6	3,8	3,1	1,9	1,2			

Рад у две смене

K_j	A_i	K_1	K_2	K_3	K_4	K_5	K_6	K_7	K_8	K_9	K_{10}	K_{11}	K_{12}	K_{13}	K_{14}	K_{15}	K_{16}	K_{17}	K_{18}	P	X^*	R
A_1		9	5	10	8	9	7	2	10	8		10	10	1	2	5	10	4	10	70	7,06	4
		9	5	10	8	9	8	2	10	8		9	10	1	2	5	10	4	10	80	7,06	4
A_2		9	6	10	8	7	7	7	10	10		1	7	8	2	5	10	6	10	70	7,24	3
		8	6	10	8	7	8	7	10	10		1	6	8	2	5	10	6	10	80	7,18	3
A_3		10	7	10	10	7	4	9	10	10		3	1	8	6	5	10	8	10	70	7,53	2
		8	7	10	10	7	4	9	10	10		6	1	8	6	5	10	8	10	80	7,59	2
A_4		10	8	10	10	4	4	10	10	10		7	3	10	8	8	10	10	10	70	8,35	1
		9	8	10	10	4	4	10	10	10		10	3	10	8	8	10	10	10	80	8,47	1
$g\%$		18	6,3	1,9	3,1	4,4	5,2	7,5	4,5	3,0	0	19,1	7,6	5,8	3,6	3,8	3,1	1,9	1,2			

Слика 1-27. Матрица (n_{ij}) за наведени пример

1. Увод

Рад у једној смени

K_j A_i	K_1	K_2	K_3	K_4	K_5	K_6	K_7	K_8	K_9	K_{10}	K_{11}	K_{12}	K_{13}	K_{14}	K_{15}	K_{16}	K_{17}	K_{18}	P	X	R
A_1	162	31,5	19	24,8	44	41,6	15	45	24		191	76	5,8	7,2	19	31	7,6	12	35	7,57	2
	162	31,5	19	24,8	44	46,8	15	45	24		191	76	5,8	7,2	19	31	7,6	12	40	7,62	2
A_2	162	37,8	19	24,8	35,2	41,6	52,5	45	30		76,4	53,2	46,4	7,2	19	31	11,4	12	35	7,05	3
	144	37,8	19	24,8	35,2	46,8	52,5	45	30		19,1	45,6	46,4	7,2	19	31	11,4	12	40	6,27	4
A_3	180	44,1	19	31	30,8	20,8	67,5	45	30		19,1	7,6	46,4	21,6	19	31	15,2	12	35	6,40	4
	144	44,1	19	31	30,8	20,8	67,5	45	30		38,2	7,6	46,4	21,6	19	31	15,2	12	40	6,23	3
A_4	180	50,4	19	31	17,6	20,8	75	45	30		95,5	22,8	58	28,8	30,4	31	19	12	35	7,66	1
	162	50,4	19	31	17,6	20,8	75	45	30		114,6	22,8	58	28,8	30,4	31	19	12	40	7,67	1
$g\%$	18	6,3	1,9	3,1	4,4	5,2	7,5	4,5	3,0	0	19,1	7,6	5,8	3,6	3,8	3,1	1,9	1,2			

Рад у две смене

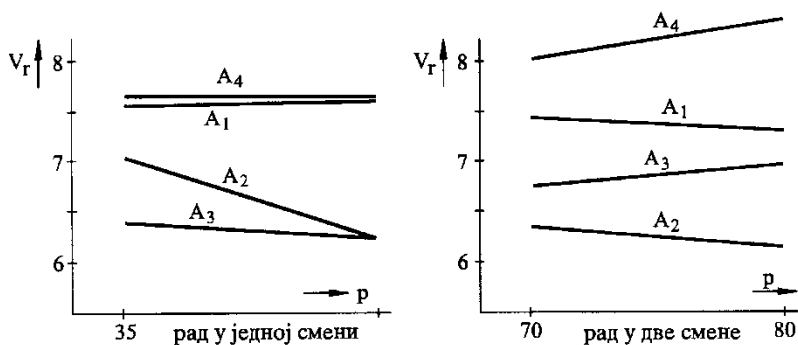
K_j A_i	K_1	K_2	K_3	K_4	K_5	K_6	K_7	K_8	K_9	K_{10}	K_{11}	K_{12}	K_{13}	K_{14}	K_{15}	K_{16}	K_{17}	K_{18}	P	X	R
A_1	162	31,5	19	24,8	39,6	36,4	15	45	24		191	76	5,8	7,2	19	31	7,6	12	70	7,47	2
	162	31,5	19	24,8	39,6	41,6	15	45	24		171,9	76	5,8	7,2	19	31	7,6	12	80	7,33	2
A_2	162	37,8	19	24,8	30,8	36,4	52,5	45	30		19,1	53,2	46,4	7,2	19	31	11,4	12	40	6,38	4
	144	37,8	19	24,8	30,8	41,6	52,5	45	30		19,1	45,6	46,4	7,2	19	31	11,4	12	70	6,17	4
A_3	180	44,1	19	31	30,8	20,8	67,5	45	30		57,3	7,6	46,4	21,6	19	31	15,2	12	70	6,78	3
	144	44,1	19	31	30,8	20,8	67,5	45	30		114,6	7,6	46,4	21,6	19	31	15,2	12	80	7,00	3
A_4	180	50,4	19	31	17,6	20,8	75	45	30		133,7	22,8	58	28,8	30,4	31	19	12	70	8,05	1
	162	50,4	19	31	17,6	20,8	75	45	30		19,1	22,8	58	28,8	30,4	31	19	12	80	8,44	1
$g\%$	18	6,3	1,9	3,1	4,4	5,2	7,5	4,5	3,0	0	19,1	7,6	5,8	3,6	3,8	3,1	1,9	1,2			

Слика 1-28. Матрица (N_{ij}) за наведени пример

Напомена:

$$X^* = \sum_{j=1}^{18} n_{ij}$$

$$X = \sum_{j=1}^{18} g_j n_{ij}$$



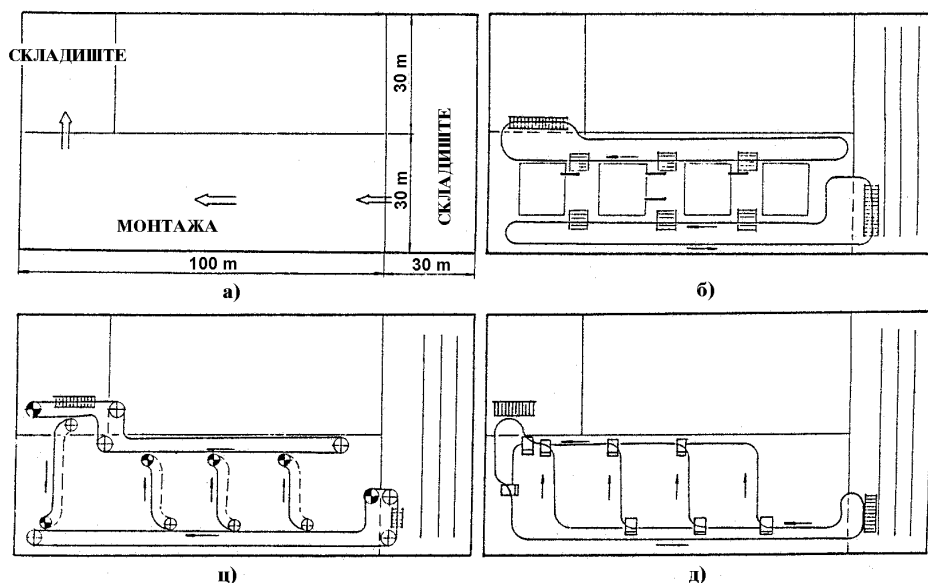
Слика 1-29. Промена вредности корисности алтернатива $A_1 - A_4$

1.14. Примена вишекритеријумске анализе у избору транспортног система

Пројектним задатком је предвиђено да транспортни систем допрема компоненте, обрађене делове и готову робу из складишта до погона монтаже. Задатак је дефинисан на основу постојећег обима производње редуктора, електричних витала, колица једношинских дизалица, дизаличних точкова и агрегата машина алатки за обраду дрвета, као и планираног раста за наредни десетогодишњи период. Годишњи обим производње је $Q = 14.000 \text{ t/god.}$ Рад погона монтаже је планиран у једној смени, па је дневни капацитет $Q_d = 56 \text{ t/sмена.}$ Делови и готова роба се из складишта полупроизвода отпремају у контејнерима, док се склопљени агрегати транспортују на палетама, у контејнерима или се вешају за транспортни уређај. Приказује се скраћена верзија за три варијанте решења (оптимистичко, реалистичко и песимистичко).

Диспозиција складишних и производних површина дата је на слици 1-30а. Због природе процеса монтаже и постојеће опреме, у погону, разматрани су следећи транспортни системи:

- са класичним једнишним и конзолним дизалицама, слика 1-30б,
- са двошинским конвејером (power and free), слика 1-30ц,
- са једношним флексибилним транспортним уређајима **DSB**, слика 1-30д.

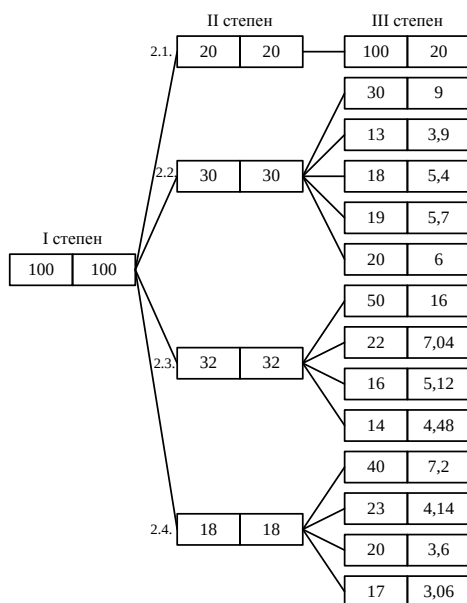


Слика 1-30. Диспозиција складишних и производних површина

1. Увод

Хијерархија циља је постављена у три степена и дата је у табlici 1-1. У трећем степену јавља се 14 критеријума према којима треба вредновати алтернативна решења. Тежине појединих подциљева и критеријума, дате су на слици 1-31.

Помоћу матрице вредности циља (n_{ij}), $j = \text{const.}$, приказане су алтернативе у систему вредности преко m једнодимензионалних приоритета. За вредновање је изабрана апсолутно фиксирана интервална скала са поделом од 0 до 10. Квантитативни критеријуми су исказани помоћу једне од вредносних функција, док су квалитативни критеријуми приказани табеларно. Први критеријум K_1 (капацитет), представља чврсти захтев и он се не процењује. Вредновање критеријума је извршено оптимистичким, реалним и песимистичким процењивањем. Матрица вредности циља је дата у табlici 1-2.



Слика 1-31. Тежине појединих подциљева и критеријума

Корисност алтернативних решења је израчуната помоћу развијеног програма. Фактори тежине g_j одређени су методом "сукцесивне апроксимације" уз коришћење хијерархијске структуре циља. Преглед појединих критеријума дат је на слици 1-32.

Резултати вишекритеријумске анализе са варијацијом тежина појединих критеријума, а у условима песимистичког, реалног и оптимистичког процењивања корисности алтернативних решења по појединим критеријумима, дати су на слици 1-33.

Експеримент са варирањем тежина критеријума, у условима песимистичког, реалног и оптимистичког процењивања алтернатива по појединим

критеријумима, дао је очекиване резултате. Распоред алтернативних решења остао је исти, осим у екстремним случајевима фаворизовања економских критеријума, где је дошло до замене места алтернативних решења 2 и 3 (слика 1-34 ц), што на укупан резултат није утицало.

Варирањем тежина појединих критеријума, у условима песимистичког, реалног и оптимистичког процењивања алтернативних решења по појединим критеријумима, метода вишекритеријумске анализе добија ниву димензију, тако да се са већим степеном поузданости може донети одлука о избору решења.

Таблица 1-1.

АЛТЕРНАТИВЕ ТЕХНИЧКОГ РЕШЕЊА ТРАНСПОРТНОГ СИСТЕМА					
1. степен	2. степен	3. степен	Транспортни систем са једношинским дизалицама	Транспортни систем са двошинским конвејерима (P&F)	Транс. систем са флексибилним уређајима DSB
1.1. Идејно решење транспортног система	2.1. Капацитет транспорта 2.2. Техничка решења	3.1. Тона по смени 3.2. Степен аутоматизације 3.3. Могућност интеграције у FTS 3.4. Директан приступ рад. месту 3.5. Флексибилност система 3.6. Поузданост система 3.7. Експлоатац. трошкови 3.8. Инвестиције у трансп., опрему 3.9. Инвестиције у помоћну опрему 3.10. Учешће људског рада 3.11. Замор и повреде радника 3.12. Могућност оштећења произв. 3.13. Стварање буке 3.14. Однос маса Q_k / G	$Q = 56 \text{ t/smena}$ Ручно управљање са тастатуре Немогуће Немогуће Нефлексибилан, могућа проширења Висока поузданост уређаја	$Q = 56 \text{ t/smena}$ Управљање са централног пулта Уз реконструкцију и учешће оператора Могуће, са ручним истоваром Флексибилан, могућа проширења Висока	$Q = 56 \text{ t/smena}$ Аутоматски утовар /истовар online Систем је интегрисан у FTS Директан приступ, аутомат. истовар Флексибилан, могућа проширења Висока, могућност самодијагностиц.
	2.3. Економски утицај				
	2.4. Остали утицаји		Транспорт, 21 радник у смени Постоји у току транспорта и утовара/истовара Постоји у току транспорта и утовара/истовара Бука ниског до средњег интензитета 0,3	Транспорт, 7 радника у смени Постоји при утовару и истовару Постоји при утовару и истовару Бука средњег до високог интензитета 1	Транспорт без учешћа људи Не постоји Мала, терет је контејнеризован Бука ниског интензитета 0,35
Напомена: Економски утицаји нису приказани					

Таблица 1-2.

A	Kj	K ₁	K ₂	K ₃	K ₄	K ₅	K ₆	K ₇	K ₈	K ₉	K ₁₀	K ₁₁	K ₁₂	K ₁₃	K ₁₄
1	О	10	2	2	2	3	6	4,6	6,6	1,9	2	2	8	9	9
1	Р	10	0	0	0	2,5	5	4,1	6,5	1	0	1	6	8	8
1	П	10	0	0	0	1,5	3	3,5	6,3	0,05	0	0	4	6	7
2	О	10	8	7	9	9	9	1,7	0,5	3,1	6	8	9	3	3
2	Р	10	6	6	8	8	8	1,05	0,4	2,3	5	6	8	1	2
2	П	10	3	4	7	6	7	0,1	0,1	1,5	3	5	6	0	0
3	О	10	10	10	10	10	10	5,2	3,3	10	10	10	10	10	10
3	Р	10	10	8	10	10	10	4,7	3,1	10	10	10	10	8	8
3	П	10	10	6	10	10	10	4,2	2,9	10	10	10	10	7	7

1. Увод

K_2 Степен аутоматизације	V_r
Online	10
Offline	8
Са командног пулта	5
Одвојено, ручно сваким уређајем	0

K_3 Интеграција у FTS	V_r
Систам интегрисан у FTS, online	10
Транспортни систем је део FTS	8
Интегрисан, присутан оператер	6
Интеграција уз реконструкцију	2
Није могућа	0

K_4 Директан приступ радном месту	V_r
Директна допрема и аутоматски истовар без учешћа радника	10
Директна допрема до радног места и механизован истовар	8
Директна допрема и ручни истовар	4
Директна допрема до радног места није могућа	0

K_5 Флексибилност	V_r
Аутоматски избор оптим. путање	10
Флексибилна путања са ручним избором циља	8
Флексибилна путања са ручним управ.	6
Нефлексибилна путања, могућа проширења	3
Нефлексибилна путања, проширења тешко изводљива	0

K_6 Поузданост	V_r
Висока, могућност искључивања са стазе, самодијагностицирање	10
Висока, могућност искључивања са стазе	8
Висока, није могуће искључење, могућност блокирања транспорта	5
Ниска, није могуће искључење са стазе	0

K_{10} Учешће људског рада	V_r
Без учешћа људског рада	10
До 2 радника у смени	8
Од 3 до 6 радника у смени	5
Од 7 до 10 радника у смени	2
Преко 10 радника у смени	0

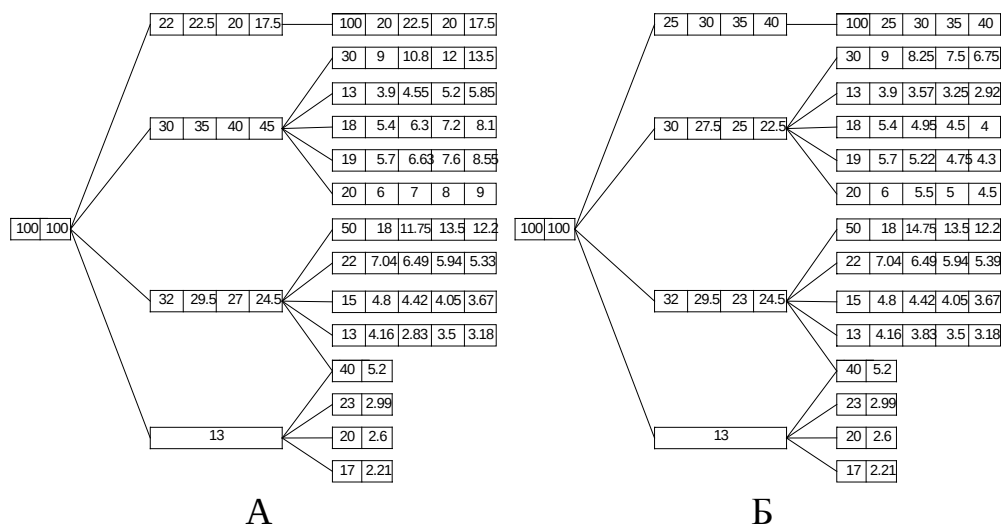
K_{11} Замор и повреде радника	V_r
Радници су искључени из процеса транспорта, утовара и истовара	10
Радници управљају транспортним системом	9
Радници управљају транспортом, утоваром и истоваром	6
Радници учествују у транспорту, утовару и истовару	2
Ручно управљање	0

K_{12} Могућност оштећења производа	V_r
Терет је на палетама, контејнерима, аутоматски утовар или истовар	10
Терет је на палетама, контејнерима ручно управљање утоваром и истоваром	8
Терет је на палетама, контејнерима, ручно управљање транспортом утоваром и истоваром	6
Терет се веша на транспортно средство, ручно управљање транспортом, утоваром и истоваром	2

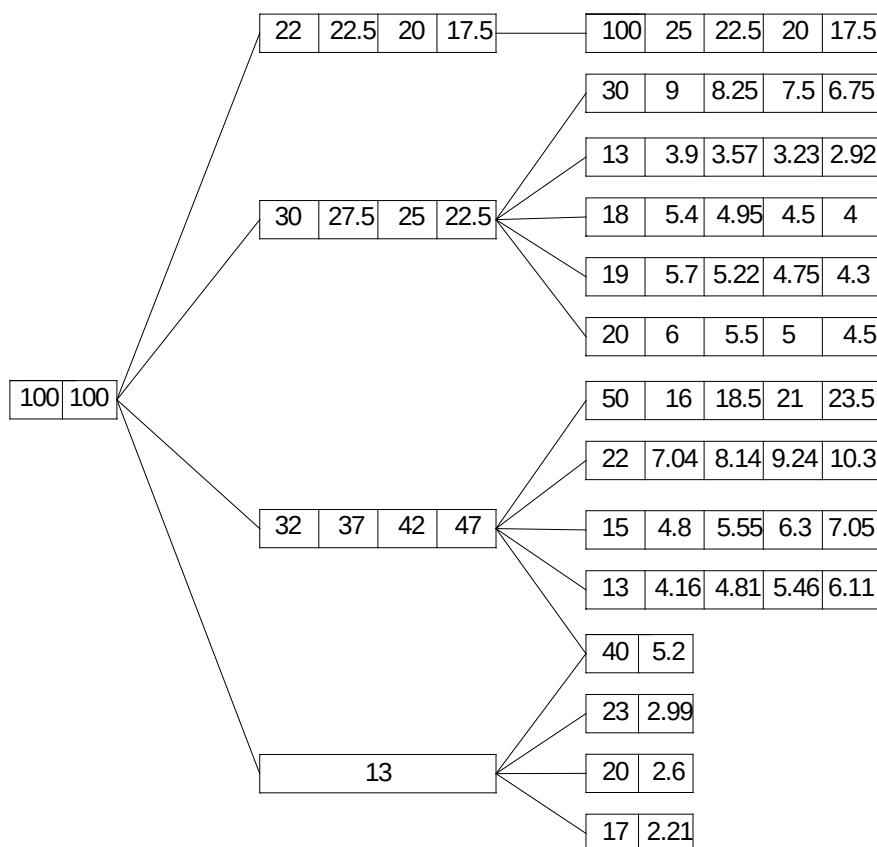
K_{13} Стварање буке	V_r
Бешуман рад	10
Бука ниског интензитета	8
Бука средњег интензитета	4
Бука повишеног интензитета	1
Бука високог интензитета	0

K_{14} Однос корисног и мртвог терета	V_r
Покретне масе знатно мање од корисног терета	10
Покретне масе мање од корисног терета	8
Покретне масе приближно једнаке корисном терету	5
Покретне масе веће од корисног терета	2
Покретне масе знатно веће од корисног терета	0

Слика 1-32. Тежине утицајних критеријума

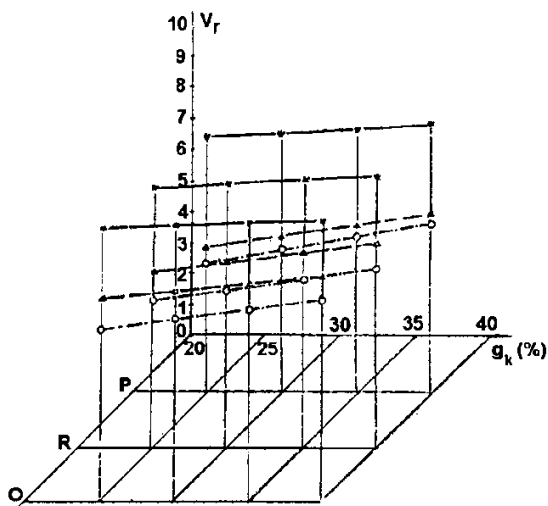


Слика 1-33а. Фаворизовање техничких критеријума (А) и испуњења капацитета (Б)



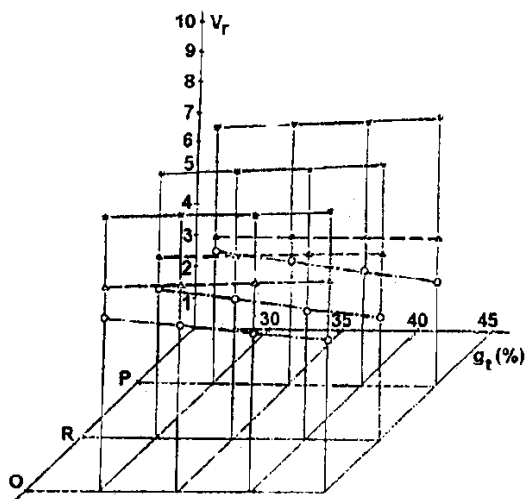
Слика 1-33б. Фаворизовање економских критеријума

K (%)	25	30	35	40
I	5,54	5,86	6,18	6,50
II	6,56	6,79	7,03	7,26
III	8,84	8,92	9,02	9,10
T (%)	30	35	40	45
I	5,54	5,34	5,13	4,92
II	6,56	6,64	6,76	6,88
III	8,84	8,90	8,95	9,04
E (%)	32	37	42	47
I	5,54	5,43	5,32	5,21
II	6,56	6,16	5,81	4,45
III	8,84	8,56	8,37	8,17



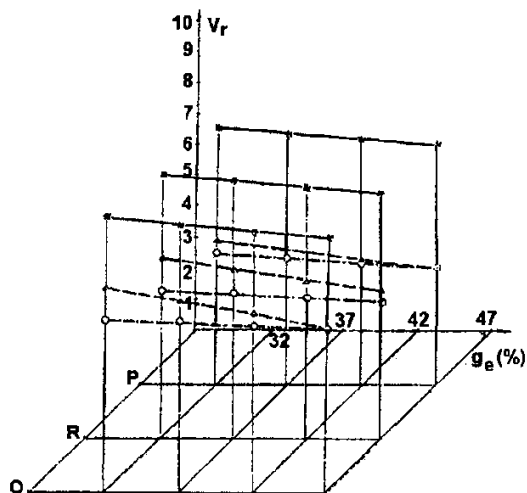
Слика 1-34а. Оптимистичко прогнозирање алтернатива
(фаворизовање испуњења капацитета)

K (%)	25	30	35	40
I	4,72	5,09	5,46	5,83
II	5,77	6,05	6,34	6,61
III	8,49	8,60	8,71	8,82
T (%)	30	35	40	45
I	4,72	4,45	4,18	3,90
II	5,77	5,84	5,91	5,99
III	8,49	8,58	8,67	8,76
E (%)	32	37	42	47
I	4,72	4,61	4,50	4,39
II	5,77	5,42	5,08	4,71
III	8,49	8,28	8,08	7,89



Слика 1-34б. Реалистичко прогнозирање алтернатива
(фаворизовање техничких критеријума)

К (%)	25	30	35	40
I	4,19	4,60	5,01	5,41
II	4,69	5,07	5,45	5,83
III	8,22	8,39	8,56	8,73
Т (%)	30	35	40	45
I	4,19	3,91	3,63	3,35
II	4,69	4,71	4,73	4,75
III	8,22	8,35	8,48	8,61
Е (%)	32	37	42	47
I	4,19	4,08	3,97	3,86
II	4,69	4,37	4,05	3,73
III	8,22	8,06	7,90	7,74



Слика 1-34ц. Песимистичко прогнозирање алтернатива
(фаворизовање економских критеријума)

1.15. Изградња објеката

Изградња и реконструкција објеката је регулисана законом који је објављен у службеном Гласнику РС. Одредбе овог Закона односе се на израду техничке документације и изградњу и реконструкцију објеката. У даљем тексту је дат извод из Закона о планирању и изградњи Службени гласник РС, бр. 72/2009, 81/2009 - 64/2010 - одлука УС, 24/2011, 121/2012, 42/2013 - одлука УС, 50/2013 - одлука УС, 98/2013 - одлука УС, 132/2014 и 145/2014). Овим законом уређује се: услови и начин уређења простора, уређивање и коришћење грађевинског земљишта и изградња објеката.

Под објектом подразумева се сам грађевински објекат или грађевински објекат са уграђеним инсталацијама, уређајима, постројењима и опремом који служе намени објекта и обезбеђују њихову функционалност предвиђену пројектом, или саме инсталације, уређаји, постројења и опрема, ако чине техничко-технолошку и функционалну целину.

Под изградњом објекта подразумева се извођење грађевинских и занатских радова, уграђивање и монтажа уређаја, постројења и опреме. Под реконструкцијом објекта подразумева се извођење радова којим се мења намена или функционалност објекта; замена уређаја, инсталација, постројења и опреме или промена технолошког процеса производње.

1.16. Техничка документација

Техничка документација за грађење и реконструкцију објекта израђује се као: генерални пројекат, идејни пројекат, главни пројекат, извођачки и пројекат изведеног објекта.

Техничка документација садржи: одговарајуће пројекте: архитектонско-грађевински, технолошки, машински, инсталација, итд., Технички опис, статичке и друге прорачуне, предмер и предрачун, детаље извођења радова и друге прилоге утврђене законом.

Техничка документација израђује се у складу са условима утврђеним просторним, односно урбанистичким планом и зависно од врсте објекта и његове локације, у складу са водопривредним, санитарним, саобраћајним, енергетским, геолошким и другим прописаним условима. Техничка документација подлеже техничкој контроли. Техничка контрола документације састоји се из провере да ли је документација израђена у складу са одредбама Закона.

Пре почетка израде техничке документације за грађење објекта изводе се претходни радови на основу чијих резултата се израђује Претходна студија оправданости и Студија оправданости.

Претходни радови, у зависности од врсте и карактеристика објекта, обухватају: истраживања и израду анализа и пројеката и других стручних материјала; прибављање података којима се анализирају инжењерско-геолошки, геотехнички, геодетски, хидролошки, метеоролошки, урбанистички, технички, технолошки, економски, енергетски, сеизмички, водопривредни и саобраћајни услови; услове заштите од пожара и заштите животне средине, као и друге услове од утицаја на градњу и коришћење одређеног објекта.

Претходном Студијом оправданости утврђује се просторна, еколошка, друштвена, финансијска, тржишна и економска оправданост инвестиције за варијантна решења дефинисана генералним пројектом, на основу којих се доноси плански документ, као и одлука о оправданости улагања у претходне радове за идејни пројекат и израду студије оправданости. Претходна Студија оправданости садржи генерални пројекат.

Генерални пројекат: садржи податке о макролокацији објекта, начину обезбеђења инфра структуре; опис пројекта са подацима о његовој намени, техничко-технолошкој концепцији објекта, капацитет и програм производње, односно експлоатације објекта; податке о водопривредним, енергетским и саобраћајним условима за одговарајуће подручје; процени утицаја на животну средину, заштити природних и непокретних културних добара,

функционалности и рационалности решења. Вредност грађевинског објекта, инсталација, опреме, постројења и монтаже; изворе, висину и начин обезбеђивања финансијских средстава, рок трајања изградње итд.

Студија оправданости одређује просторну, еколошку, финансијску, тржишну и економску оправданост инвестиције за изабрано решење, разрађено идејним пројектом, на основу које се доноси одлука о оправданости улагања. Ова Студија садржи Идејни пројекат.

Идејни пројекат садржи:

- пројектни задатак, потписан од стране инвеститора;
- Идејни технолошки пројекат;
- технички опис радова;
- предмер и предрачун радова;
- ситуациони план са приказом регулационих и грађевинских линија;
- нивелационо решење са приказом спољних димензија постојећих и планираних објеката;
- технички извештај, односно податке о микролокацији и функционалним, конструктивним и обликовним карактеристикама објеката, опис планиране инфраструктуре и њеног прикључења на спољну мрежу, процену инвестиционих улагања, као и друге елементе у зависности од врсте објекта;
- основе и карактеристичне пресеке објекта, са приказаним укупним котама.

Ситуациони план садржи:

- дужине појединих страна грађевинске парцеле;
- висинске коте постојећег земљишта и нивелације;
- регулационе и грађевинске линије са приказом постојећих и планираних објеката,
- положај и бројеве суседних катастарских парцела и зграда.

Главни пројекат израђује се за потребе грађења објекта и добијања грађевинске дозволе, садржи:

- ситуациони план;
- детаљне инжењерско геолошке-геотехничке услове изградње објекта;
- податке о функционалним и конструктивним карактеристикама објекта;
- карактеристичне подужне и попречне пресеке објекта у размери 1:100 или 1:50;

- техничко-технолошке карактеристике објекта са опремом и инсталацијама;
- блок шему инсталација са прорачунатим капацитетима и учртаним местима прикључака на јавну инфраструктуру;
- прорачун грађевинских конструкција, стабилности и сигурности објекта;
- решење темеља објекта;
- податке о потребним геодетским радовима у току изградње;
- техничко решење инфраструктуре са начином прикључења;
- прорачун термичке и звучне заштите;
- техничко-технолошка и организациона решења за изградњу објекта;
- разраду мера за спречавање негативних утицаја на животну средину;
- трошкове изградње и одржавања објекта;
- главни технолошки пројекат;
- главни пројекат машинских инсталација;
- главни пројекат електричних инсталација;
- главни пројекат инсталација водовода и канализације;
- пројекат заштите од пожара;
- друге пројекте и елаборате зависно од намене објекта.

Изградња објекта може да се подели на следеће фазе:

- израда претходне Студије оправданости са Генералним пројектом,
- израда Студије оправданости са Идејним пројектом,
- израда Главног пројекта,
- извођење објекта и надзор.

Студија оправданости са идејним пројектом треба да обезбеди оправданост улагања; поред тога техничка документација и економске анализе које су саставни део овог елабората треба да служе као подлога за даљи рад на изградњи објекта.

Главни пројекат представља детаљно решење на основу кога могу да се изводе радови и оформи фабрика, радионица, или неки други привредни објекат, који може да оствари постављене техничке и економске захтеве. Израђује се на основу одобреног идејног пројекта. Главни пројекат се ради најчешће у две фазе: у првој фази се детаљно разрађује техничка документација потребна за прикупљање понуда и расписивање лицитације. У другој фази главног пројекта израђују се цртежи, са прорачунима и техничким описом, потребни за извођење и монтажу опреме. Рад на другој фази почиње тек после склапања уговора са испоручиоцем опреме.

Извођење објекта и надзор обухватају следеће активности: утврђивање рокова и контролу извођења према планираним роковима; технички пријем опреме и контролу документације; давање потребних техничких упутстава; контролу извођења са гледишта примене прописа о изградњи објеката; контролу количине уграђеног материјала и пробни рад са анализом резултата.

1.17. Израда и прикупљање предпроектне документације за технолошки пројекат

Пројектовање се спроводи на основу пројектног задатка. Пројектни задатак се саставља у складу са потребама тржишта и трендом развоја дате гране индустрије. Да би се донело решење о изградњи индустријског објекта, избору локације и саставио пројектни задатак за његово пројектовање, потребно је извршити претходне радове и донети доказе о техничко-економској оправданости датог објекта.

Претходни радови, у оквиру Студије оправданости, обухватају проучавање тржишта, са становишта услова пласмана производа. Анализа тржишта домаћег и страног (могућност извоза) садржи испитивање могућег пласмана производа и обухвата прикупљање података о ранијим збивањима на тржишту, израду прогнозе за продају, формирање цена производа, одређивање обима и програма продаје. Ова фаза обухвата односе између тржишта и захтева фабрике.

Претходни радови обухватају проучавање научних и техничких достигнућа која доприносе увођењу нових технологија, нове опреме, као и праћење домаћих и страних тржишта. На основу прегледа перспективних потреба тржишта у производима и потрошача који треба да покрију ту производњу одређују се параметри потребни за дефинисање производног програма фабрике и њена специјализација. Анализира се предложени програм и даје предлог за његово побољшање са гледишта:

- одређивања оптималног пројектованог капацитета,
- одређивања величина серија и других фактора који утичу на тип, технологију и организацију производње (на пр. век производа, итд),
- карактеристика производа и њиховог техничког нивоа,
- производне кооперације и специјализације погона.

Развијање специјализације и кооперације је један од важних услова техничког прогреса. Специјализацијом се смањује асортиман делова што доприноси стварању једноставније структуре радионица, повећању квалитета производа, стварању услова за производњу већих серија, повећању степена механизованости и увођењу аутоматизације у технолошке процесе и системе кретања материјала, односно повећању техничког и организационог нивоа

производње. При спровођењу специјализације неопходно је истовремено решавати и питања стандардизације и унификације делова.

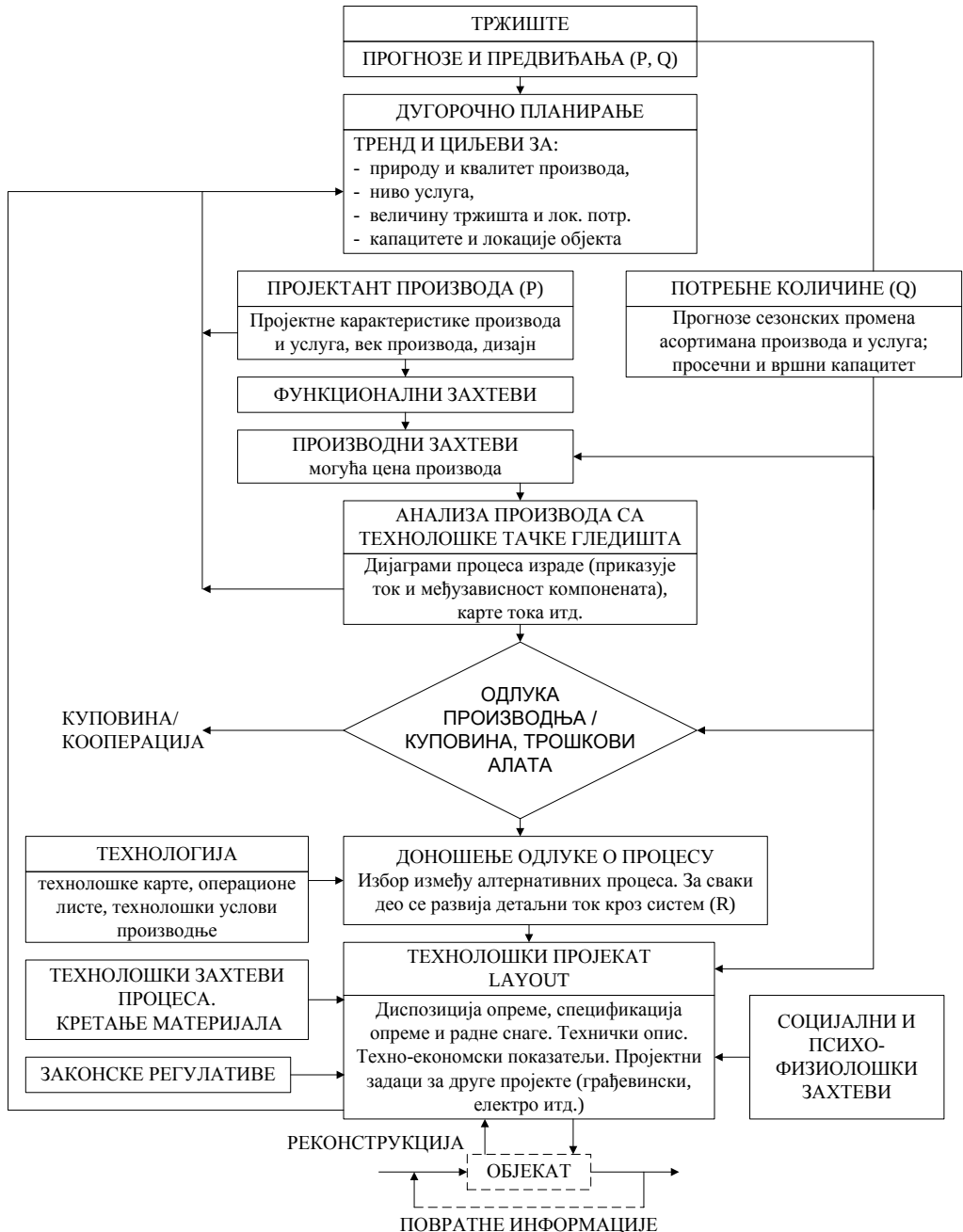
За успешно развијање специјализације потребно је решити проблем кооперације са другим предузећима. Иста може да се оствари кроз набавку полуфабриката, делова или појединих склопова и у виду коришћења слободних технолошких капацитета. Важан облик кооперације може да се постигне и коришћењем заједничких енергетских извора, саобраћајница итд. На основу прикупљене документације и извршених претходних анализа приступа се дефинисању производног програма, одређивању обима производње и изради техничке документације.

Блок дијаграм ин слици 1-35 даје преглед основних активности од захтева тржишта до реализације производног система.

1.18. Пројектни задатак

Пројектни задатак је писмено одређивање свих услова за израду пројектног елабората и представља основу за почетак пројектовања. Од правилно и рационално постављеног пројектног задатка зависи израда самог пројекта и изградња објекта. Пројектни задатак саставља инвеститор уз сарадњу одговарајућих стручњака. Базиран је на претходним радовима, истраживањима и студијама. Општи подаци и прилози које треба да садржи пројектни задатак обухватају:

- Податке о производу, програм производње и основне карактеристике производње.
- Локацију - област и место грађења.
- Ситуацију терена израђену у размери 1:500, 1:1000 или 1:2500.
- Податке о правцу и јачини ветрова.
- Геолошки састав земљишта.
- Ниво евентуалних подземних вода.
- Носивост терена.
- Рокове градње и редослед пуштања у рад појединих објеката.
- Евентуалне захтеве инвеститора за етапном изградњом.
- Податке о постојећим објектима и уграђеној опреми са одговарајућом техничком документацијом када се ради о проширењу или реконструкцији фабрике.



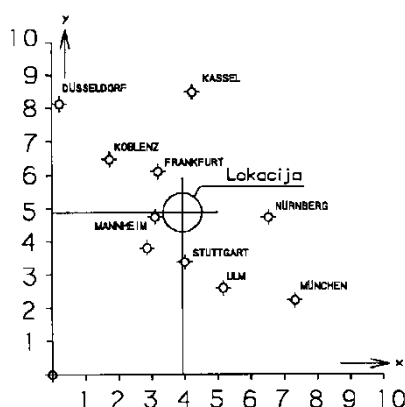
Слика 1-35. Основне активности неопходне за реализацију производног система.

1.19. Избор локације

Основни фактори који одређују економичност и целисходност изградње и експлоатације новог привредног објекта у датој области су следећи:

- постојање сировинских база и њихова локација,
- могућност снабдевања енергијом,
- решење транспорта сировина, горива и готових производа,
- снабдевање горивом,
- снабдевање водом,
- могућност одвођења отпадних вода,
- близина насељених места, и њихове карактеристике,
- повољни топографски, геолошки, хидрометеоролошки и климатски услови,
- постојање слободних површина за постављање фабрике,
- локације корисника датог објекта, и
- стратешки услови.

На слици 1-36 је дат пример одређивања географског положаја (шире локације) за једну фабрику у Немачкој /Schmalor 1971/. Положај испоручиоца репроматеријала за дату производњу и купаца (крајњих потрошача) се даје табеларно и уноси у одговарајући координатни систем (један подеок износи 100 km). У табелу се уносе количине у тонама (t) које се доводе на дату локацију и одвозе до крајњих потрошача. Количине готових производа су веће 1,7 - 2,0 пута (дате су фиктивне количине због одговарајућег односа трошкова транспорта). Идеална локација је дата координатама $x = 3,98$, $y = 4,93$.



	t	x	xt	y	yt
Допрема					
Stuttgart	20	4,00	80,00	3,40	68,00
Ulm	18	5,20	93,60	2,60	46,80
Отпрема					
Dusseldorf	13	0,30	3,90	8,10	105,30
Kassel	7	4,10	28,70	8,50	59,50
Koblenz	8	1,70	13,60	6,50	52,00
Frankfurt	13	3,20	41,60	6,10	79,30
Mannheim	6	3,10	18,60	4,80	28,80
Karlsruhe	4	2,95	11,80	3,80	15,20
Nurnberg	2	6,50	13,00	4,80	9,60
Mienchen	13	7,20	93,60	2,20	28,60
	104	3,98	398,40	4,93	493,10

Слика 1-36. Одређивање шире локације.

После одређивања шире локације за изградњу фабрике приступа се избору самог терена у оквиру дате области, односно од могућих површина за изградњу

индустријских објеката бира се најповољнија површина према урбанистичком плану и другим неопходним условима.

Услови који се анализирају при избору терена су следећи:

- конфигурација терена и његове димензије,
- рељеф терена,
- карактеристике земљишта,
- могућност појаве подземних вода,
- потенцијална опасност од поплава,
- положај енергетских база и услови за прикључивање,
- снабдевање водом,
- постојање канализационе мреже,
- могућност одвођења отпадних вода,
- повољност терена у погледу санитарно-хигијенских услова,
- положај саобраћајница и растојање од магистралних путева,
- могућност прикључивања индустријског колосека на постојећу мрежу,
- положај стамбених насеља у односу на правац дејства главних ветрова и могућност постављања санитарно заштитне зоне према прописима,
- положај и врста индустријских објеката када постоји могућност заједничког коришћења енергетских извора, постројења за пречишћавање отпадних вода итд., и
- могућност проширења фабрике.

1.20. Програм производње

Програм производње представља производни задатак за један одређени временски период. Производни програм може да буде тачан, сведени или условни код израде идејних решења (производна оријентација). Тачан програм производње садржи потпуни списак свих производа, који се израђују у датој фабрици у одређеном временском периоду (укључујући шкарт и резервне делове), са назначеном количином и врстом материјала.

Програм производње садржи спецификације свих производа и радионичке цртеже који треба да садрже податке неопходне за разраду технолошког процеса: врсту материјала, начин обраде, врсту термичке обраде са означеном тврдоћом и другим карактеристикама, начин површинске заштите итд. Поред тога потребно је да буду дефинисани технички услови за израду и пријем производа.

Тачни програм производње се користи при изради пројеката погона масовне и великосеријске производње. Образац 1-1 приказује изглед заглавља за формирање програма на основу добијених података.

1. Увод

Образац 1-1.

Поз.	Назив комада	Број цртежа	Материјал	Димензије	Бр. ком. за 1 производ	Бр. ком. Годишње	Маса Комада	Маса Годишње	Примедба

Производни програм се назива сведеним када се сви производи условно своде на неколико карактеристичних производа представника. При пројектовању по сведеном програму целокупна номенклатура производа се дели на технолошки сличне групе. Свака група мора да има свог карактеристичног представника према коме се изводе даљи прорачуни.

Програм се разрађује на основу једног или неколико карактеристичних производа представника, обично оних из групе технолошки сличних делова (по сложености, конструкцији и начину израде), који су заступљени у највећој количини и маси. За производе представнике се израђује целокупна техничка документација као и код састављања тачног програма. Одступања осталих производа од производа представника се изравњавају коефицијентима свођења.

Сведени програм производње обично се користи када је задат разноврстан асортиман производа, најчешће при серијској производњи, као и у случају када се не располаже са потпуном документацијом за све производе.

При изради пројеката погона индивидуалне и малосеријске производње, разрада на већ описане начине није могућа. За широку номенклатуру производа, који се јављају у овом случају није могуће урадити детаљну техничку документацију, а и сам програм често није фиксно одређен (присутна је производна оријентација). Производни програм се дели на карактеристичне тежинске групе, дају се просечне и највеће масе комада и његове габаритне димензије. Нормативи времена израде се добијају коришћењем техничко-економских показатеља из литературе.

1.21. Обим производње и технички капацитет

Обим производње представља количину производа дефинисану производним програмом увећану за проценат шкарта (зависи од захтеваног нивоа квалитета) који се јавља у процесу израде и дат је изразом:

$$Q = \frac{Q_p}{1 - q/100}$$

где је:

Q_p - производња која треба да се реализује, дата програмом производње,
 q - просечни шкарт дат у процентима.

Технички капацитет самог производног постројења дат је изразом:

$$Q_T = \frac{Q_p}{(1 - q/100)\eta}$$

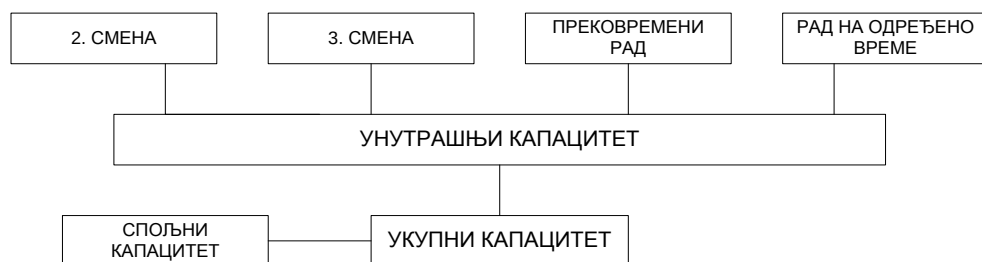
где је:

η - степен искоришћења средстава рада, на који могу да утичу: грешке у планирању, недостатак ресурса, кварови на опреми, нередовно снабдевање материјалом, итд.

Доношење одлуке о величини производног капацитета је веома значајно посебно ако се захтевају велика инвестициона улагања у опрему и објекте. Захтеви за производима или услугама (сервисне радионице) могу да варирају (на пр. захтеви сезонског карактера) и то отежава доношење одлуке да ли ће се капацитет погона пројектовати према максималној потражњи или према неком nižем нивоу. При томе, варијације могу да буду сезонске, месечне, недељне, а понекад и дневне.

Да би се смањиле инвестиције у неким случајевима је могуће планирати коришћење капацитета и то: променом броја радника (сезонска радна снага - рад на одређено време), прековременим радом, стварањем сезонских залиха итд.

Капацитет може да буде унутрашњи и спољни. Унутрашњи капацитет дефинише сопствену способност производног погона, а спољни капацитет даје могућност повећања укупног производног капацитета зависно од уговора са другим произвођачима (кооперација), или снабдевачима (куповина готове робе - компонената). На слици 1-37 су приказани поједини утицаји на формирање укупног капацитета.



Слика 1-37. Формирање укупног капацитета

1.22. Састав фабрике

Подела фабрике на поједина одељења и радионице може да се изврши према функцији коју иста обављају, тако да могу да се формирају три основне групе:

- Производна одељења - основне радионице, предвиђена су за непосредно остваривање технолошких процеса,
- Одељења, радионице и постројења за опслуживање производње и обезбеђење услова рада. Ова група обухвата следеће подгрупе:
 - помоћна одељења, радионице и складишта,
 - постројења за производњу и расподелу енергије, и
 - постројења која обезбеђују потребне услове за рад.
- Остале службе које обухватају управу, администрацију, техничку припрему, технолошко биро, конструкциони биро, одељење за развој, службу инвестиција, службу заштите на раду, ресторан, здравствену станицу, итд. У ову групу спадају и одељења санитарне технике, гардеробе, тушеви, санитарни чвор итд. У зависности од усвојене технологије, типа и организације производње и величине фабрике нека од наведених одељења (и радионица) могу да буду уједињена, односно да не буду предвиђена.

Производна одељења (радионице):

- радионице за машинску обраду,
- радионице за склапање производа (монтажа),
- одељење термичке обраде,
- одељење (постројење) за површинску заштиту,
- одељење за испитивање производа,
- одељење за конзервацију, паковање итд.

Помоћна одељења, радионице и складишта:

- радионице за припрему производње,
- радионице за израду алата,
- радионице за израду прибора,
- радионице за ремонт машина и енергетских постројења,
- одељења за контролу (међуоперациона, међуфазна, контрола алата и прибора),
- одељење за одржавање машинског парка, опреме и енергетских постројења,
- одељење за пуњење акумулатора,
- складишта (сировина и полуфабриката, међуфазна, готове робе и готових производа),

- складиште алата и прибора,
- складиште резервних делова,
- складиште потрошног материјала и опреме за ХТЗ, итд.

Постројења за производњу и расподелу енергије:

- постројења за производњу, трансформацију и развод електричне енергије,
- постројења за производњу и развод паре (топле воде),
- постројења за производњу и развод компримованог ваздуха,
- постројења за производњу и развод кисеоника, ацетилена итд.,
- постројења за пречишћавање отпадних вода итд.

Постројења која обезбеђују потребне услове за рад:

- постројења и разводне мреже за грејање, проветравање и климатизацију,
- постројења за отпрашивање,
- уређаји за осветљавање, сигнализацију, телефонију итд.,
- рачунски центар, терминали итд .

1.23. Основни техничко-економски показатељи

Преглед техничко-економских показатеља дат у овом поглављу треба да послужи као помоћ пројектанту при упоређивању предложеног решења са већ изведеним објектима и омогући процену техничко-економског нивоа пројекта.

Производност фабрике ($t/m^2/god.$). Представља годишњу производњу у (t) по (m^2) укупне површине (све производне и помоћне просторије директно везане за процес производње, без санитарних просторија, гардеробе и канцеларија). Показатељ може да буде дат и за поједина производна одељења (радионице).

Продуктивност по запосленом ($t/čovek/god.$). Обухвата следеће особље: производне раднике, помоћне раднике, управу, техничку службу, административну службу, итд.

Производност по производном раднику ($t/čovek/god.$). Односи само на раднике запослене у производним одељењима.

1. Увод

Утрошак часова по t производа (h/t)

$$U_h = \frac{R \cdot T_h}{Q} \text{ (h/t)}$$

где је:

R - број радника,

T_h - годишњи фонд времена рада у часовима,

Q - годишња производња у t .

2. ОПШТА УПУТСТВА ЗА ПРОЈЕКТОВАЊЕ

При решавању технолошког процеса у циљу обезбеђивања доброг функционисања пројектованог погона, треба обратити пажњу на следеће:

- Обезбедити потребне услове за производњу делова према одговарајућем стандарду: механичка својства, чистоћу површине, толеранције, површинску заштиту итд.
- Повећати продуктивност применом што већег степена механизованости и аутоматизације у свим технолошким и транспортним операцијама, при томе водити рачуна о економској оправданости решења. Треба правилно решити кретање материјала кроз производни процес, елиминисати непотребно задржавање материјала у току процеса и омогућити сталну и једноставну контролу квалитета и квантитета.
- Обезбедити флексибилност погона, односно производњу серија променљивих величина према захтевима потрошача (конструкција, функција, дизајн и време испоруке).
- Треба тежити ка мањем проценту шкарта и смањењу потрошње материјала.
- Обезбедити транспорт са што краћим путањама између свих производних и помоћних одељења и складишта. Кретање материјала треба усмеравати ка месту отпреме готових производа и избегавати укрштања и повратне линије. Уколико је могуће треба користити транспортна средства за обављање појединих операција за време кретања материјала. Правилно решење транспорта одговара потребама рационално организоване производње и ствара услове за повећање квалитета и нижу цену производа.

2. Општа упутства за пројектовање

- При избору опреме и транспортних уређаја треба тежити по могућству, да се усвоје типски уређаји.
- Предвидети могућност проширења објекта (законска обавеза), повећање обима производње и могућност измене производног програма.
- Треба тежити високом степену искоришћења ефективног рада, смањити ручну манипулацију и кретање особља на минимум.
- При изради пројекта треба наћи такво решење које ће да да високи степен искоришћења површина, добар распоред просторија и опреме, водећи рачуна о пролазима и прилазима.
- Сви делови пројектованог објекта треба да задовоље санитарно техничке услове. Ово се постиже добро простудираним решењима грејања и проветравања, одстрањивања прашине и штетних гасова и осветљења радних места.
- Пројекат треба да задовољи еколошке захтеве.

2.1. Садржај технолошког пројекта

Обим технолошког дела пројекта зависи од врсте производа, типа и обима производње, карактеристика објекта, састава опреме и рока потребног за његову израду. Пројекат треба да садржи следећа поглавља:

- **Пројектни задатак** (полазна основа за израду свих фаза техничке документације). Садржи: циљеве и сврху израде пројекта, намену (врсту) објекта, усклађивање изградње објекта са одговарајућим планским документима (просторним, урбанистичким и другим), капацитет (величину) објекта (обим производње, површину, пропусну моћ и сл.), функционалне и технолошке захтеве које објекат треба да испуни, факторе од којих зависи избор локације за изградњу (њене величине и могућности коришћења одговарајућих система техничке инфраструктуре), потребне услове и мере за заштиту природних и културних добара, потребне претходне радове и истраживања, оријентациону цену изградње објекта, рок за изградњу објекта, друге специфичне захтеве и ограничења које инвеститор сматра значајним за изградњу објекта.
- Производни програм - обим производње, састав и методе формирања програма (тачни, сведени, преко показатеља). Табеларни приказ програма.
- **Р** (производ) - **Q** (количина) анализа. Избор типа производње.
- Режим рада и фонд времена рада опреме и радника - даје се образложење о изабраном режиму рада појединих одељења. На основу изабраног режима рада одређује се фонд времена рада опреме и радника.

- Опште решење технолошког процеса. Одређивање норматива утрошка материјала и израда биланса материјала према квалитету и полазним димензијама. Одређивање норматива времена израде, радне снаге и енергије. Дијаграм процеса израде. Даје се образложење изабраног технолошког процеса и документује техничко-економска оправданост усвојеног нивоа механизације и аутоматизације.
- Одређивање - избор и прорачун неопходне технолошке и помоћне опреме (при изради пројекта реконструкције фабрике или појединих одељења наводи се број постојеће опреме). Одређивање радних места.
- Одређивање потребних површина производних одељења.
- Одређивање површина помоћних радионица и постројења за опслуживање производње и обезбеђење услова рада.
- Постављање главних токова материјала и прорачун укупне количине материјала који се транспортује кроз погоне. Размештај простора, опреме и радних места. Користи се матрица од - до, дијаграм кретања материјала, матрица међузависности, или неки компјутерски програм.
- Решење транспорта материјала са прорачуном и избором транспортних уређаја. Одређивање циклуса транспорта и израчунавање производних капацитета свих уређаја. Израчунавање транспортног учинка. Дијаграм кретања материјала. Утицај динамике кретања на реализацију унутрашњег транспорта.
- Пројектовање складишта за чување сировина, горива, готових производа и др. Одређивање локације појединих складишта. Избор типа складишта и одређивање потребног простора за ускладиштење. Избор и прорачун складишне механизације.
- Спецификација радне снаге. Број производних радника се одређује према укупном времену потребном за извођење одређених операција, друге категорије радника се узимају најчешће према просечним показатељима, у процентима од броја производних радника.
- Спецификација опреме - основне и помоћне, са назначеним главним карактеристикама, габаритним мерама, масом и инсталисаном снагом.
- Опште решење проблема снабдевања енергијом са подацима за пројектовање инсталација (електрика, грејање и проветравање, климатизација, компримовани ваздух, пара, вода и др.) - саставља се списак потрошача са навођењем њихових главних карактеристика и одређује се годишња потрошња електричне енергије, паре, воде, сабијеног ваздуха итд. Рекапитулација потрошње енергије.
- Израда диспозиционог решења (Layout) - коначни распоред појединих одељења, машина и радних места, са цртежима основе и пресека у којима је уцртана опрема (цртежи се израђују у размери 1:100, 1:200 или 1:50).
- Програм грађевинске изградње са назначеним основним параметрима зграде - даје се образложење о усвојеном типу зграде, са њеним главним карактеристикама. Решење природног и вештачког осветљења

2. Општа упутства за пројектовање

радних просторија. Даје се положај прикључака за снабдевање енергијом технолошке опреме и транспортних уређаја са назначеном врстом енергије и количинама.

- Ситуациони план предузећа. Ситуациони план садржи: дужине појединих страна грађевинске парцеле; висинске коте постојећег земљишта и нивелације; регулационе и грађевинске линије, положај и спратност објекта; положај и бројеве суседних катастарских парцела и зграда, назив улице. Распоред објеката се црта у размери 1:500 или 1:1.000.
- Усаглашавање пројекта са захтевима заштите на раду, од пожара итд.
- Технички извештај (детаљни опис целокупног процеса) са техничко-економским показатељима и критичким освртом на дато решење. Упоредба предложеног решења са сличним погонима из литературе, или постојећим погонима. Табеларни преглед показатеља.

2.2. Обавезни општи прилози у пројекту

- Доказ да су за изградњу обезбеђена финансијска средства.
- Решење о регистрацији предузећа, које је израдило пројекат.
- Доказ о извршеној техничкој контроли документације.
- Решење о регистрацији предузећа које је извршило техничку контролу.
- Доказ о праву својине, односно праву коришћења грађевинског земљишта на коме ће се градити објекат.
- Доказ о решеним имовинско-правним односима за катастарске парцеле које покривају објекат:
 - копију плана са уцртаним габаритом објекта,
 - решење о праву коришћења,
 - извод из земљишних књига.
- Протокол регулације.

2.3. Услови за пројектовање

- Урбанистичко-технички услови.
- Подаци о постројењима, објектима и мрежама саобраћајне, енергетске, водопривредне, комуналне и друге инфраструктуре, као и услови за прикључење нових објеката на мреже комуналне инфраструктуре.

2.4. Технолошки пројекат

Технолошки пројекат представља коначно решење једног процеса производње произашло из анализе различитих варијанти технолошког процеса урађених према захтевима дефинисаним у пројектном задатку.

Постављени циљ и захтеви инвеститора одређују обим пројекта који може да буде реализован као: генерални пројекат, идејни пројекат и главни пројекат. При томе поступак реализације пројекта једног објекта се развија у више етапа, почев од генералног пројекта па све до извођачког пројекта.

Избор и прорачун технолошке и помоћне опреме и њихов правилан распоред, технолошки и просторни, представљају језгро технолошког пројекта и за њихово дефинисање се по правилу утроши већи део времена потребног за израду пројекта. Предложени распоред опреме може да доведе до оптималног решења само ако се уважавају сви значајни фактори везани за извођење технолошког процеса и кретање материјала кроз процес, а да при томе буду задовољени сви услови сигурности, као заштита од пожара итд.

Оптимални просторни распоред машина и опреме не може се емпиријски дефинисати и представља низ истраживања, прорачуна и анализа, при чему се користе различите методе у пројектовању, избору и вредновању појединих алтернативних решења.

Изради технолошког пројекта је потребно посветити посебну пажњу зато што представља основу за даља пројектовања у току реализације објекта, односно за дефинисање пројектних задатака других техничких пројеката (архитектонски, грађевински, електро, енергетски итд.).

Финални део технолошког пројекта представља диспозициони план са уцртаном опремом (layout), са спецификацијама опреме и радне снаге, пројектним задацима за израду других техничких пројеката и техничким описом. Овај план приказује просторни распоред машина, постројења и радних места који треба да обезбеди оптималне производне услове и одговарајуће економске ефекте производње.

2.5. Документација технолошког пројекта

У овом поглављу ће се дати основни садржај текстуалног дела генералног, идејног и главног пројекта и начин формирања одговарајуће графичке документације.

2.5.1 Генерални пројекат

Генерални пројекат представља техничку разраду планских докумената или основу за њихову израду, и израђује се у циљу сагледавања ресурсних и просторних могућности и ограничења израде објекта, са задатком да се усвоји генерална концепција, макролокација и просторна диспозиција објекта, утврде основне функционалне, технолошке и техничке карактеристике објекта. Генерални пројекат је основ за израду претходне студије оправданости за изградњу објекта.

Генералним пројектом и претходном студијом оправданости обезбеђује се:

- избор најповољније локације објекта,
- утврђивање генералног техничког и технолошког концепта,
- вредновање евентуалних варијанти и избор најповољнијег решења,
- претходна оцена оправданости планиране изградње објекта

2.5.2. Идејни пројекат

Идејни пројекат представља техничку разраду основне концепције и диспозиције утврђене у генералном пројекту са циљем да се утврди оптимално решење и микролокација објекта, са становишта функционалних, технолошких, техничких и економских захтева, као и захтева за заштиту животне средине.

Садржи идејно решење технолошког процеса са избором и прорачуном производне и помоћне опреме. Решење кретања материјала кроз производни систем са избором и прорачуном транспортних уређаја. Одређивање потребних површина и просторни распоред одељења и радионица. Распоред опреме унутар појединих погона. Решење проблема ускладиштења. Спецификацију производне и помоћне опреме са назначеним вредностима поједине опреме и укупна инвестициона улагања. Спецификацију радне снаге са назначеном квалификационом структуром. Пројектне задатке са елементима потребним за израду осталих идејних пројеката. Технички опис који треба да обухвати целокупан производни процес са основним техничко-економским показатељима.

Цртежи: Основе и пресеци објекта са уцртаном опремом (диспозициони цртежи - layout) у размери 1:100 или 1:200. У основи треба котирати укупне дужине и ширине целе зграде, појединих просторија и отвора, распоне појединих поља (од осе до осе стуба) и величине модула стубова дуж поља. Означити коту пода приземља са $\pm 0,00$, па према томе дати висинске коте појединих спратова. Дебелом непрекиданом линијом означити места појединих пресека. У свакој просторији уписати намену и у загради уписати њену

површину. Опрему цртати у размери и назначити одговарајућу позицију за сваки тип опреме. Означити коте главних транспортних путева. Означити положај потрошача енергије са назначеним количинама.

2.5.3. Главни пројекат

Главни пројекат представља детаљну техничку разраду објекта из идејног пројекта на дефинитивно утврђеној локацији и према усвојеној опреми, а на нивоу разраде који је довољан за рационално обликовање свих делова објекта, за избор оптималног начина грађења, за израду детаљног предмера и предрачуна на основу кога могу да се изводе радови и оформи погон. Главни пројекат је основа за формирање лицитационе документације за изградњу објекта. Израђује се на основу одobreне студије изводљивости и идејног пројекта.

Садржи детаљну разраду технолошког процеса производње; избор и распоред опреме са обзиром на њену технолошку повезаност и кретање материјала кроз процес; детаљно решење унутрашњег транспорта и складиштења; коначно дефинисање простора; детаљну спецификацију радне снаге и опреме са предрачуном инвестиционих улагања и технички опис.

Цртежи: Диспозициони цртежи се формирају на исти начин као и код идејног пројекта и израђују се у размери 1:50. Основу главног пројекта треба допунити архитектонским мерама свих отвора. Котирати осна растојања отвора, котирати положај и димензије стубова, извршити нумерацију стубова по хоризонтали и вертикали, означити тип и правац отварања врата, врсту и носивост подова. Опрема се уцртава са тачно одређеним положајем у односу на грађевинске елементе објекта и уцртаним kotaма положаја главних оса или темељних завртњева, означава се габарит темеља и уцртавају сви канали и отвори са назначеним главним димензијама. Дају се подаци неопходни за дефинисање темеља уколико се исти предвиђају и то: маса машине или уређаја, захтевани тип темеља, начин везивања за подлогу, динамичка оптерећења итд.

У оквиру главног пројекта се на посебним основама уцртавају инсталације за развод енергије, са котираним положајем појединих потрошача и назначеним количинама које се троше. Означавају се места за локално одсисавање ваздуха, даје састав гасова или загађеност ваздуха и њихова температура, концентрација прашине и означавају количине које треба одвести из погона.

2. Општа упутства за пројектовање

2.5.4. Извођачки пројекат

Извођачки пројекат израђује се за потребе извођења радова на грађењу ако главни пројекат не садржи разраду детаља потребних за извођење радова.

2.5.5. Пројекат изведеног објекта

Пројекат изведеног објекта израђује се за потребе прибављања употребне дозволе, коришћења и одржавања објекта. Обухвата све измене настале у току грађења. Уколико у току грађења објекта није одступљено од главног пројекта, инвеститор и извођач радова потврђују и оверавају на главном пројекту да је изведено стање једнако пројектованом стању.

2.6. Поступак пројектовања

Поступак пројектовања може да се спроведе на основу тачног и сведеног програма производње, или код идејног решења према карактеристичним тежинским групама.

Тачни програм производње садржи потпуну техничку документацију, тако да овај начин пројектовања омогућује детаљну разраду технолошког дела пројекта, избор најпогодније технологије за производњу уз рационално искоришћење расположивог фонда времена, материјала, опреме и радне снаге, а да се при томе постижу задовољавајући економски ефекти.

Пројектовање према тачном програму се изводи на основу детаљно разрађене технолошке документације за производњу сваког дела. Овај начин пројектовања је дуготрајан и сложен зато што се захтева комплетна разрада техничке и технолошке документације, тако да се примењује код израде пројеката погона масовне и великосеријске производње са ограниченом номенкатуром производа (фабрике аутомобила, трактора, радијатора, беле технике итд.).

На сликама 2-1 до 2-5 је приказан изглед технолошке документације монтаже погонског предњег моста трактора. Технолошки поступак монтаже диференцијала је дат на сликама 2-1 и 2-2; спојнице слободног хода на слици 2-3 и склопа спојнице на слици 2-4. На слици 2-5 је приказан дијаграм процеса монтаже (главна монтажна линија и линија за монтажу подсклопова и склопова). На приложеном дијаграму су посебно означене позиције за које је приложен технолошки поступак монтаже.

Код примене сведеног програма производње у пројектовању технолошка документација се израђује само за производе представнике и то на исти начин као и у претходном случају. Процес пројектовања се знатно скраћује зато што је свака група технолошки сличних делова заступљена само са једним представником. Времена израде осталих производа из технолошке групе се добијају поступком свођења:

$$T_{xi} = K_{xi} \cdot T_p,$$

где је:

T_{xi} - време потребно за обраду i -тог комада из дате технолошке групе,

K_{xi} - заједнички коефицијент свођења за i -ти комад,

T_p - време потребно за израду производа представника.

За представника групе обично се бира производ који је заступљен у највећој количини и маси, а близак је осталим производима у групи по материјалу, технолошком процесу израде, облику и маси. При томе се добијају најтачнији резултати када се маса појединих комада из дате технолошке групе не разликује више од 2 до 3 пута од масе производа представника.

Заједнички коефицијент свођења се одређује по обрасцу:

$$K = K_1 \cdot K_2 \cdot K_3,$$

где је:

K_1 - коефицијент свођења који обухвата однос маса,

K_2 - коефицијент свођења који обухвата утицај величине серије, и

K_3 - коефицијент свођења који обухвата сложеност израде појединих комада.

Коефицијент K_1 се добија из односа масе делова дате групе и масе производа представника. Када се ради о геометријски сличним деловима коефицијент K_1 се одређује из обрасца:

$$K_1 = \left(\frac{g_x}{g_p} \right)^{2/3},$$

где је:

g_p - маса дела производа представника,

g_x - маса дела који се своди.

2. Општа упутства за пројектовање

Уколико маса делова и димензије њихових површина, које се обрађују, различито утичу на величину машинског и помоћног времена, коефицијент K_1 се одређује по обрасцу:

$$K_1 = C_M \cdot \left(\frac{\sum g_x}{\sum g_p} \right)^{2/3} + C_p \cdot \left(\frac{\sum g_x}{\sum g_p} \right)^{1/3},$$

где је:

$\sum g_p$ - збир (нето) маса свих делова који се обрађују, производа представника,

$\sum g_x$ - збир (нето) маса делова производа који се своди,

C_M и C_p - коефицијенти који одређују део машинског и помоћног времена за комад; за делове различите масе, серијности и за разне типове машиноградње. Ови коефицијенти се одређују из норматива, датих на слици 2-6 (I - прибори; II - лака машиноградња; III - средња машиноградња; IV - тешка машиноградња; 1 - појединачна и малосеријска производња; 2 - серијска производња; 3 - великосеријска производња).

У датим формулама се узима маса обрађених комада. Коефицијент K_2 /Егоров 1959/ се одређује по формули:

$$K_2 = \left(\frac{N_p}{N_x} \right)^m,$$

где је:

N_p - годишњи програм у коадима дела производа представника,

N_x - годишњи програм у коадима за производ који сводимо из дате групе,

m - коефицијент који се одређује из таблице 2-1.

Оријентационе величине коефицијента K_2 дате су у табlici 2-2 /Ajzenberg 1961/.

Имајући у виду велики број фактора који утичу на утрошак рада при машинској обради комада, коефицијент K_3 се одређује на основу практичних искустава. При томе, треба водити рачуна о примењеној класи тачности, чистоћи обраде, погодности израде, обрадљивости материјала итд.

При пројектовању машинских и монтажних радионица серијске производње, по сведеном програму, за производе представнике се израђује целокупна техничка документација, као и код састављања тачног програма. За остале производе се дају спискови редоследа технолошких операција.

Сведени програм се саставља по обрасцу таблица 2-3. Пројектовање на основу сведеног програма производње се примењује у случајевима када је задат разноврстан асортиман производа, најчешће у серијској производњи, као и када се не располаже потпуном документацијом за све производе.

При изради пројеката фабрика јединичне производње уместо операционих листа, састављају се само спискови редоследа технолошких операција, са назначеном производном опремом, помоћним приборима, алатима и општим нормативима времена по операцијама. Код израде идејних решења и у почетној фази пројектовања, када се жели да сагледа општа проблематика и добију основни параметри погона користе се техничко економски показатељи. При коришћењу ових показатеља треба увести одговарајуће корекције, водећи рачуна о могућностима примене нових технологија и нових типова производне, транспортне и помоћне опреме.

2.7. Режим рада

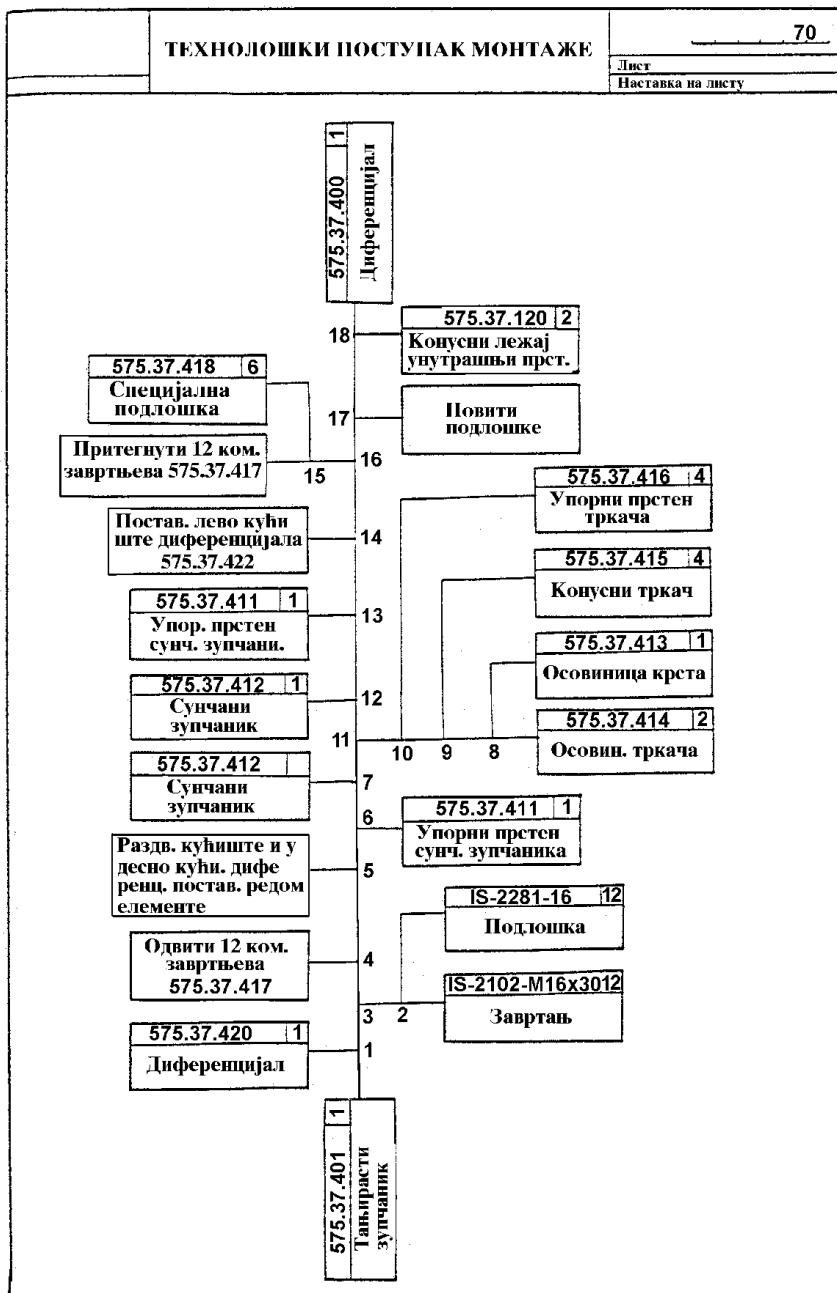
Избор режима рада зависи од решења технолошког процеса и особености програма производње. При пројектовању треба тежити да се изабере најрационалнији режим рада, а то је онај при коме се постиже најмања дужина циклуса свих производних операција. Као последица скраћења циклуса долази до високог степена искоришћења производне и помоћне опреме, радних површина и људског потенцијала, при ниској цени и добром квалитету производа. У фабрикама може да се примени паралелни и степенести режим рада. У појединим случајевима се комбинују ова два режима рада.

При паралелном режиму рада производња је синхронизована, односно сва производна одељења раде једновременно (нпр. операције израде делова и монтаже склопова се обављају у истој смени). Овај режим рада се примењује у већини фабрика (машиноградња, процесна индустрија, механизоване ливнице серијске и масовне производње, итд.). Рад се обично организује у две смене (по потреби се уводи трећа смена), да би се рационално искористила производна и помоћна опрема и транспортна средства.

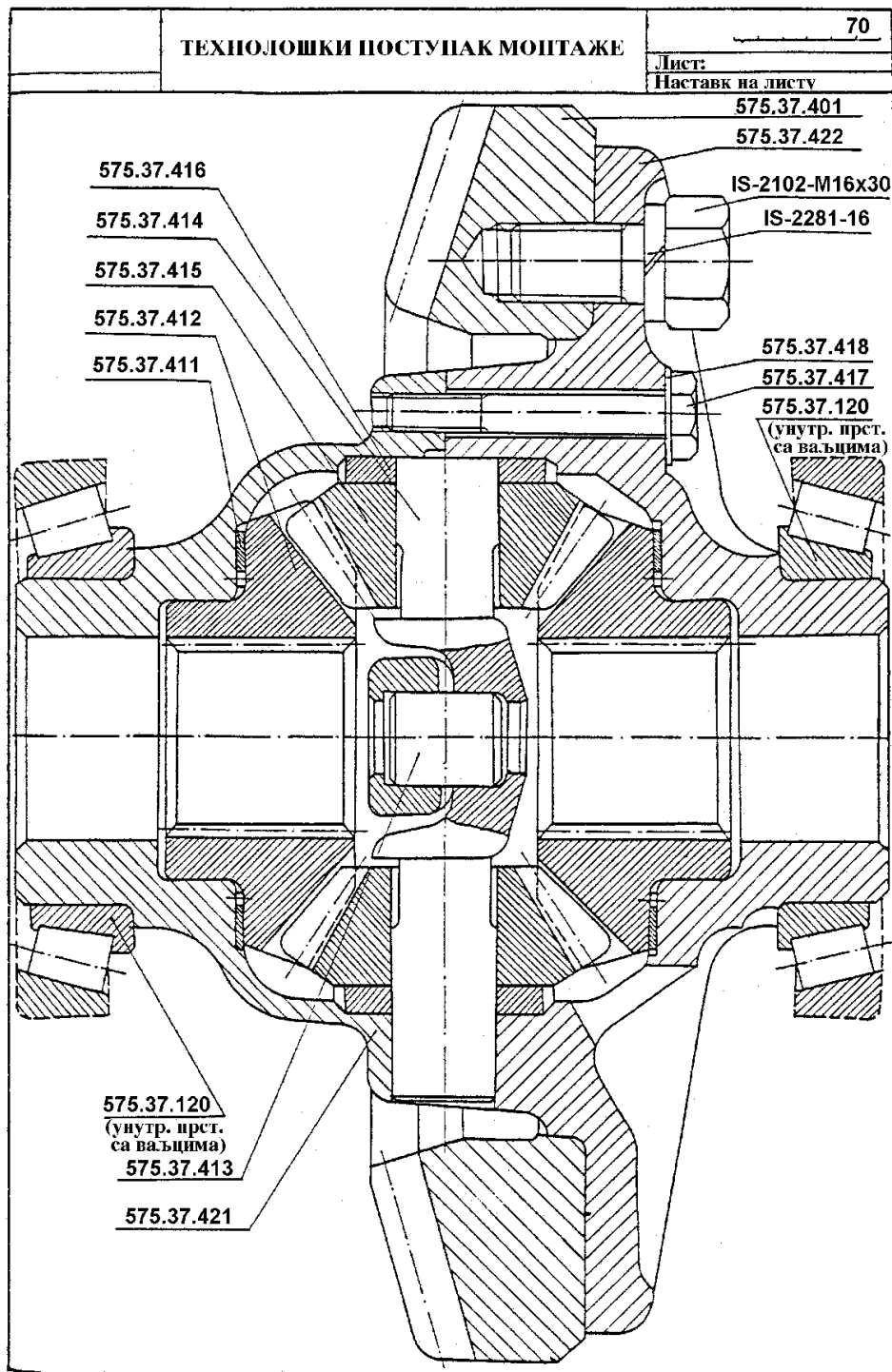
Степенаст режим рада је у суштини дисконтинуалан. Карактерише се тиме што се на истој површини у разним сменама обављају разни производни процеси по утврђеном редоследу (нпр. у ливницама израда калупа у једној смени, ливење и истресање калупа у другој смени и сл.). Примењује се у ливницама индивидуалне и малосеријске производње и при производњи средњих и великих одливака сложеног облика (дугачак циклус израде), код монтаже сложених производа великог габарита, у неким радионицама за израду челичних конструкција итд.

2. Општа упутства за пројектовање

Према броју смена рад у погонима може да се обавља у једној, две или три смене. При томе трајање једне смене износи 6 до 8 часова. Број смена зависи од захтева технолошког процеса и економских услова коришћења појединих погона.

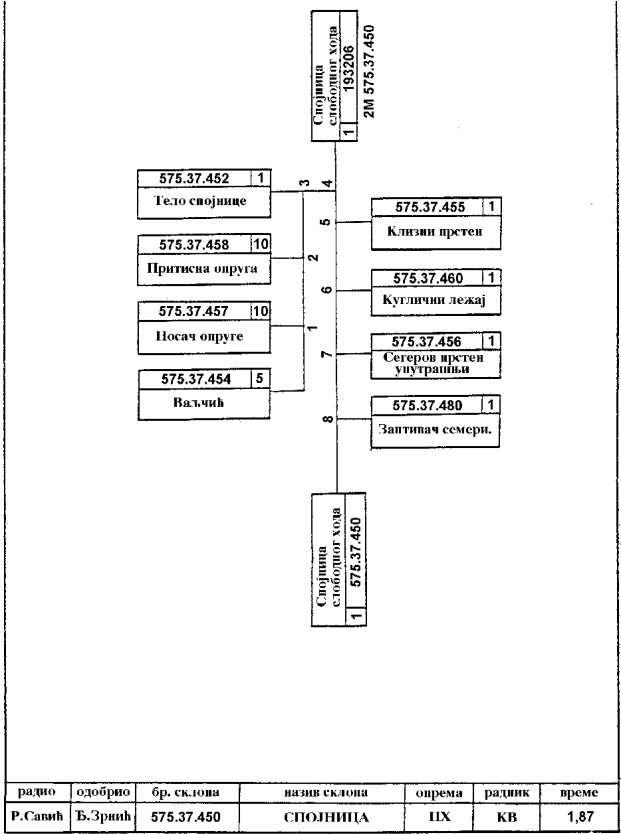


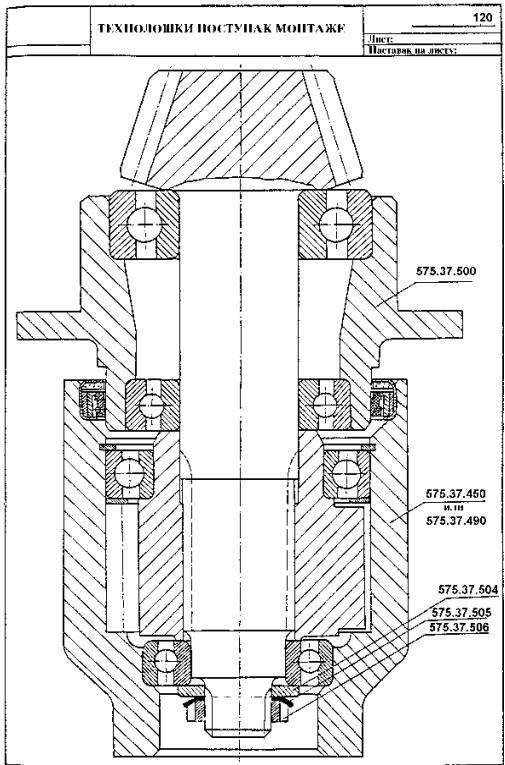
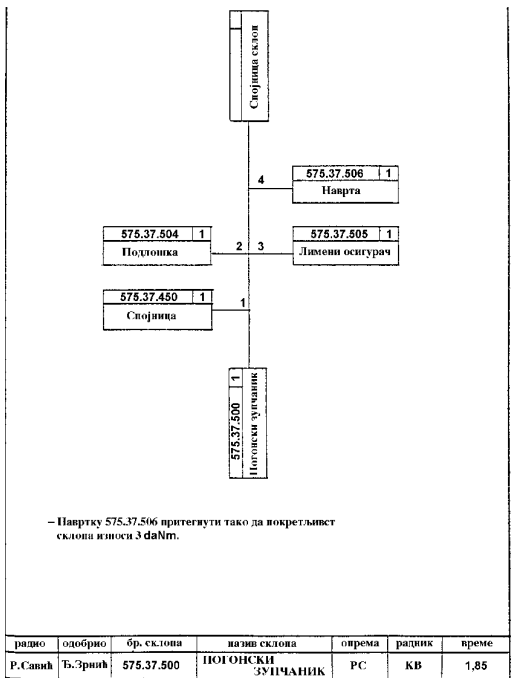
Слика 2-1. Технолошки поступак монтаже диференцијала



Слика 2-2. Технолошки поступак монтаже диференцијала

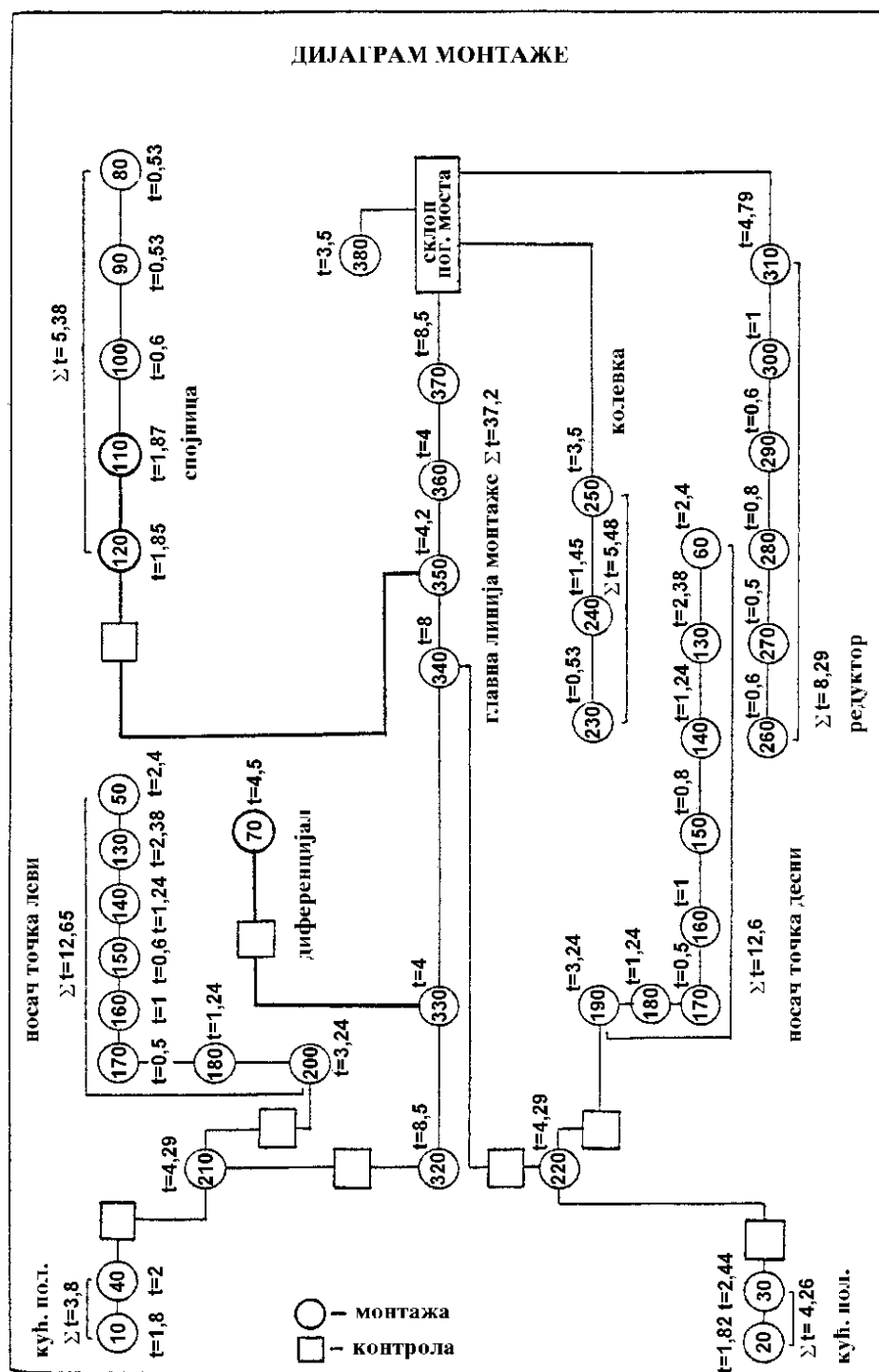
2. Општа упутства за пројектовање





Слика 2-4. Технолошки поступак монтаже склопа спојнице

2. Општа упутства за пројектовање



Слика 2-5. Дијаграм процеса монтаже

2. Општа упутства за пројектовање



Слика 2-6. Коефицијенти који одређују део машинског и помоћног времена

Таблица 2-1.

Просечна маса делова у (kg)	0,25	0,40	0,50	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0
m	0,215	0,210	0,207	0,200	0,197	0,195	0,193	0,190	0,188	0,187
Просечна маса делова у (kg)	8,0	9,0	10	12	15	20	25	30	50	100
m	0,186	0,185	0,184	0,183	0,182	0,180	0,176	0,172	0,168	0,165

Таблица 2-2.

N_p/N_x	0,50	0,75	1,00	1,10	1,20	1,30	1,40	1,50	1,60	1,80	2,00	2,20	2,50	3,00
K_2	0,97	0,99	1,00	1,01	1,03	1,05	1,06	1,07	1,08	1,10	1,12	1,13	1,15	1,17
N_p/N_x	3,50	4,00	4,50	5,00	5,50	6,00	6,50	7,00	7,50	8,00	8,50	9,00	9,50	10,0
K_2	1,20	1,22	1,23	1,25	1,27	1,28	1,30	1,31	1,32	1,33	1,34	1,35	1,36	1,37

Таблица 2-3.

СТВАРНИ ПРОГРАМ							СВЕДЕНИ ПРОГРАМ												
Редни број	НАЗИВ ПРОИЗВОДА	Ознака - Тип	Техничке карактеристике		Годишња производ. (ком.)		Маса (kg)		ПРОИЗВОД ПРЕДСТАВНИК	Коефицијенти свођења				Време израде по ком.		Укупно време		Рачунска годишња производња (ком) (5) x (12)	Примедба
							Комада	Укупно		K_1	K_2	K_3	K	T_p	T_{xi}	(5) x (13)	(5) x (14)		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16		17		
	Произод А, Б итд.																		
Укупно:																			
Напомена: Таблица може да се користи тако што ће се одредити укупно време обраде (рубрика 15), или фиктиван број производа представника (рубрика 16). Даљи поступак пројектовања се спроводи коришћењем технолошке документације производа представника.																			

2.8. Фонд времена рада

Фонд времена рада представља расположиво радно време за обављање корисног посла у одређеном временском периоду. Овај фонд времена се добија када се од календарског броја дана одбију дани када погон не ради (државни празници, недеље и суботе, колективни годишњи одмори), тако да се добија максимално могући број радних дана у току године. Ефективни број радних часова за рад у једној смени износи:

$$T_f = D_r \cdot H - T_g,$$

где је:

D_r - расположиви број радних дана,

H - трајање смене у часовима,

T_g - време потребно за генералне поправке машина и уређаја, у просеку износи 100 - 200 h/god; средње и текуће оправке по правилу се обављају у сменама када се не ради.

2.9. Прорачун производне опреме

Израчунавање потребног броја машина и опреме за извршење задатог производног програма зависи од низа фактора од којих су главни следећи: природа производа, димензије, облик и маса, режим рада, расположиви фонд времена рада и пројектовани технолошки процес /Роровић 1962/.

Прорачун потребног броја машина може да се изврши на два начина:

- грубо - на основу техничко-економских показатеља о сличној производњи, и
- детаљно - на основу технолошке документације.

Потребан број машина на основу показатеља може да се израчуна по следећим обрасцима:

$$I_r = \frac{Q \cdot h}{T_f \cdot n}, \quad \text{и} \quad I_r = \frac{Q}{q \cdot n},$$

где је:

I_r - рачунски број машина,

Q - обим производње у t/god,

h - просечан број машинских часова за израду 1 тоне делова,

T_f - фонд времена рада машина у часовима,

n - број смена, и

q - просечна годишња производња једне машине у тонама, за рад у једној смени.

Стварни број машина у погону се добија из следећег израза:

$$I = \frac{I_r}{\eta_{sr}},$$

где је:

η_{sr} - просечни коефицијент временског искоришћења машина (0,60 - 0,90 зависно од типа производње и усвојене опреме).

При прорачуну на основу техничко-економских показатеља добија се укупни број потребних производних машина. Овај број се затим дели на поједине типове или групе машина, користећи се при томе пропорционалним учешћем појединих типова или група у укупном броју машина. Процентуално учешће се одређује на основу досадашњих производних искустава и пројектантске праксе (таблица 2-4; приближне нумеричке вредности дате су у %, могу да послуже само као оријентација).

Када постоји разрађен комплетан технолошки поступак потребан број машина се рачуна на основу технолошких карти (детаљан прорачун). Укупно време које оптерећује поједине машине (T_u), узима се из збирне листе састављене према производима, за све операције и све типове машина (Таблица 2-5). Потребан број машина (за дати тип) је дат изразом:

$$I_{r_i} = \frac{T_u}{T_f \cdot n},$$

где је:

T_u - укупно време које оптерећује поједине машине.

Стварни број машина за поједине типове је дат изразом:

$$I_i = \frac{I_{r_i}}{\eta},$$

где је:

η - просечни коефицијент временског искоришћења датог типа машина ($\eta = 0,65 - 0,90$).

2. Општа упутства за пројектовање

Таблица 2-4.

ОПРЕМА	Фабрике тешких машина			Механизми дизалица, без редуктора
	Израда крупних делова	Израда средњих и ситних делова	Израда редуктора	
Стругови	26,0	27,0	17,0	25,0
Револвер стругови	1,5	14,0	3,5	10,0
Аутомати	-	2,0	1,5	7,0
Карусели	7,5	7,0	12,0	6,0
Хоризонталне бушилице	18,0	9,0	7,0	3,0
Рендисаљке	15,0	7,0	7,0	1,0
Машине за провлачење	3,0	3,5	3,0	3,0
Глодалице	9,0	9,5	6,5	18,0
Бушилице	11,0	11,0	7,5	18,0
Машине за кружно и унутрашње брушење	3,0	3,5	3,5	5,5
Машине за равно брушење	1,0	1,5	3,5	1,0
Машине за обраду зупчаника	-	-	28,0	4,5
Остале машине	5,0	5,0	3,5	7,0

Код линијске производње где се процес одвија према редоследу технолошких операција, број машина зависи од броја операција датог процеса и технолошког времена потребног за извођење појединих операција. Потребан број машина се израчунава по обрасцу:

$$I = N_0 + \sum (I_i - 1),$$

где је:

N_0 - број тактова (радних места различитих по операцијама), који се изводи на датој линији,

I_i - стварни број машина на i -тој операцији, где је:

$$I_i = I_{ri} / \eta$$

за серијску производњу: $\eta = 0,75 - 0,85$,

а за масовну: $\eta = 0,65 - 0,75$.

Потребан број машина за извођење операција на i -том такту линије се израчунава из израза:

$$I_{ri} = \frac{t_{ki}}{T_c},$$

где је:

t_{ki} - укупно време потребно за извођење операција на i -том такту,

T_c - такт производње.

2. Општа упутства за пројектовање

Таблица 2-5.

Назив производа	Број цртежа	Материјал	Бр. ком. за произв.	Бр. ком. годишње	Маса (kg)		Укупно машинско време у часовима							
					За комад	За год. произв.	Стругови итд.						Укупно	
							мали		средњи		велики			
							За произв.	Годишње	За произв.	Годишње	За произв.	Годишње		
Производ А Б														
Часова: - годишњи програм - резервни делови - услуге														
Укупно														
Прорачунски број машина														
Усвојен број машина														
Коефицијент искоришћења машина														
Једновременно опслуживање више машина														
Број човек часова														
Прорачунски број радника														
Усвојен број радника														

2.10. Прорачун радних места у монтажним радионицама

Обим монтажних радова се одређује из технолошке документације за склапање производа, или на основу показатеља:

- времена монтажних радова за 1 t масе производа, или
- у процентима од обима машинске обраде.

2. Општа упутства за пројектовање

Укупно време потребно за монтажу једног производа износи:

$$T_{mon} = \sum T_1 + \sum T_2 + \sum T_3$$

где је:

$\sum T_1$ - обим машинбраварских радова (припрема),

$\sum T_2$ - обим радова делимичне монтаже (монтажа појединих подсклопова и склопова),

$\sum T_3$ - обим радова финалне монтаже производа.

У таблица 2-6 су дате просечне вредности времена у % за поједине врсте монтажних радова, зависно од типа производње.

Таблица 2-6.

ВРСТА МОНТАЖНИХ РАДОВА	ТИП ПРОИЗВОДЊЕ				
	Појединачна	Малосеријска	Серијска	Великосеријска	Масовна
Браварски радови	25 - 30	20 - 25	15 - 20	10 - 15	-
Монтажа подсклопова и склопова	5 - 10	10 - 15	20 - 30	30 - 40	45 - 60
Финална монтажа	60 - 70	60 - 70	50 - 65	45 - 60	40 - 55

Потребан број радних места (за стационарну монтажу) је дат изразом:

$$I_{ri} = \frac{T_{mon}}{T_{fr} \cdot n \cdot l},$$

где је:

T_{mon} - укупни обим монтажних радова у часовима,

T_{fr} - фонд времена рада на радном месту у часовима,

n - број смена, и

l - просечан број радника који једновремено учествују на обављању дате операције.

Код линијске монтаже потребан број радних места се одређује аналогно као и потребан број машина у линијској производњи. Прорачун радних места и потребног броја радника на монтажи се спроводи табеларно (Таблица 2-7). У таблицама 2-8 и 2-9 дат је приближан однос обима радова (у %) монтажних и машинских операција за поједине производе.

Таблица 2-7.

Назив производа	Маса производа (kg)	Габарит производа	Број комада годишње	Назив радова	Обим рада у човек часовима		Бр. радн. на даатој опер.	Број радних места		Степен искор. рад. места	Број производ. радника		Примедба
					За 1 комад	За годишњу производњу		Прорачунат	Усвојен		Прорачунат	Усвојен	
Производ А													
Производ Б													

2.11. Прорачун радне снаге

Потребан број производних радника се одређује на основу укупног времена потребног за израду годишње количине делова, или на основу техничких показатеља:

$$R = \frac{T_u}{T_{fr} \cdot S},$$

где је:

R - потребан број радника за дату операцију (процес),

T_u - укупно време потребно за извођење појединих операција у (h),

T_{fr} - стварни фонд времена радника у часовима (са одбитком за годишњи одмор, боловање, и сл.),

S - број машина које послужује један радник једноремено.

Потребан број производних радника може да се одреди и на основу усвојеног броја машина из обрасца:

$$R = \frac{T_f \cdot n \cdot I \cdot \eta_{sr}}{T_{fr} \cdot S},$$

где је просечан број машина (S) које опслужује један радник дат у табелици 2-10.

Просечан број машина које радник подешава износи 8 - 15 за универзалне машине и 2 - 7 за полуаутомате и аутомате. Потребан број радника за подешавање аутоматских линија дат је у табелици 2-11.

2. Општа упутства за пројектовање

Таблица 2-8.

НАЗИВ ПРОИЗВОДА		ТИП ПРОИЗВОДЊЕ	$\frac{T_{mon}}{T_{mas}} \cdot 100 \%$
Аутомобилски мотори		масовна	21 - 33
Теретни аутомобили			30 - 35
Трактори			30 - 35
Путнички аутомобили			35 - 45
Пољопривредне машине		велике серије	40 - 60
Машины за обраду метала резањем	средње	серијска великосеријска	40 - 60 35 - 55
	тешке	појединачна и малосеријска	65 - 80
Опрема за ваљаонице			35 - 50
Машины за ковање и пресовање			60 - 65
Мостовске дизалице		малосеријска	42 - 60

Таблица 2-9.

НАЗИВ ПРОИЗВОДЊЕ	НАЗИВ РАДИОНИЦЕ	$\frac{T_{mon}}{T_{mas}} \cdot 100 \%$
Производња редуктора и хидрауличних погона	Мали, средњи и велики редуктори	25
	Хидраулични погони	80
Производња уређаја за подмазивање	Уређаји за подмазивање	35
Енергетска арматура високог притиска	Арматура	23
Рударска опрема	Хидраулични погони	27
	Конструкције и конвејери	37
Транспортно машинство	Дизалице и сл.	42
Производња вагона	Теретни - путнички вагони	33 - 60

Таблица 2-10.

ТИП МАШИНЕ	Број машина (линија) које опслужује један радник
Универзалне алатне машине	1
Велике глодалице и рендисаљке	1 - 2
Машины са програмским управљањем	2 - 3
Вишевретени полуаутоматски стругови	2 - 3
Полуаутоматски револвер стругови	2 - 3
Једновретени аутоматски стругови	4 - 5
Машины за израду зуба	3 - 5
Полуаутоматске брусилце	1 - 2
Аутоматске машине за полирање	4
Опслуживање аутоматских линија:	
- Линија са аутоматским преношењем делова са операције на операцију	1
- Линија без аутоматског преношења делова са операције на операцију	2 радника по линији

2. Општа упутства за пројектовање

Таблица 2-11.

СЛОЖЕНОСТ ПОДЕШАВАЊА	Број машина које опслужује један радник на подешавању
Веома сложене линије	2
Линије средње сложености	4 - 6
Једноставне линије	8

Просечан број радника машин-бравара у машинским радионицама у процентима од броја производних радника који раде на машинама износи:

- за радионице серијске производње 3 - 5 %,
- за радионице масовне и великосеријске производње 1 - 2 %.

Просечан број радника који ради на опслуживању производње у машинским радионицама (радници који раде на припреми и подешавању машина, алатничари, радници који раде на ремонту и одржавању машина, транспортни радници, радници запослени у складиштима и др.) у процентима од укупног броја производних радника за поједине фабрике износи:

- фабрика опреме за металургију (малосеријска производња) 35 - 50,
- фабрика дизалица (малосеријска производња) 30 - 40.

Број потребних радника за стационарну монтажу појединих склопова, или завршну монтажу производа, се одређује по формули:

$$R = \frac{T_{mon}}{T_{fr}},$$

где је:

T_{mon} - укупни обим монтажних радова (за монтажу појединих склопова или финалну монтажу производа у часовима),

T_{fr} - стварни фонд времена радника у часовима.

Број радника линијске монтаже за извођење операција на i -том такту износи:

$$R = \frac{T_{oi}}{T_c},$$

где је:

T_{oi} - укупно време потребно за извођење операција на i -том такту,

T_c - такт монтаже.

Потребан број помоћних радника у монтажним радионицама може да се оријентационо одреди из таблице 2-12. Број запослених у управи, техничким бироима, припреми итд. износи 12 - 20 % од укупног броја свих радника.

2. Општа упутства за пројектовање

Таблица 2-12.

НАЗИВ ПРОИЗВОДА	ТИП ПРОИЗВОДЊЕ	Однос броја помоћних радника према производним у (%)
Редуктори	Серијска и великосеријска	30 - 35
Опрема за дизалице	Малосеријска и серијска	25 - 40
Опрема за металургију		30 - 45
Дизел мотори		30 - 45

2.12. Прорачун потребних површина

Површине фабрика можемо да поделимо на следеће категорије:

- производне (основне радионице),
- одељења, радионице и постројења за опслуживање производње и обезбеђење услова рада,
- опште службе (управа, развој, администрација, кантина, здравствена станица, одељења санитарне технике итд.).

Производна површина обухвата простор радионице потребан за постављање:

- производне опреме (радних места),
- помоћне опреме,
- уређаја за манипулацију и транспорт,
- међуфазних складишта и транспортних путева и пролаза између опреме и радних места унутар одељења.

Површине производних одељења се одређују на основу габаритних мера производне и помоћне опреме, величине радних места, прописаних растојања између машина (радних места) и препоручених мера за пролазе и манипулацију, зависно од врсте и обима производње и усвојеног решења унутрашњег транспорта.

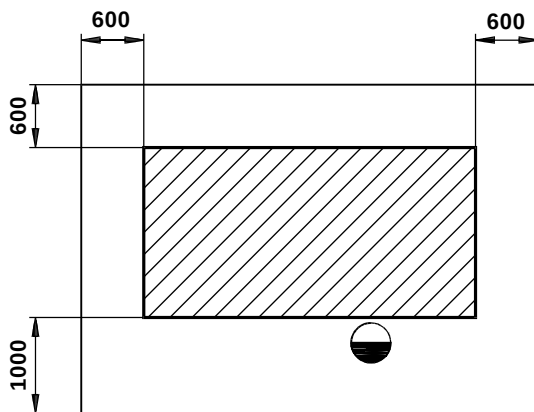
За одређивање производних површина машинских радионица, у почетном стадијуму пројектовања (израда идејних пројеката) користе се коефицијенти поправке којима се множи "основна" површина машине. Основна површина машине се добија тако што се површина машине добијена из каталога произвођача (узима се правоугаоник датих габаритних мера) увећава са стране опслуживања за 1.000 mm, а са осталих страна по минимум 600 mm (слика 2-7). Потребна површина за постављање дате машине дата је изразом:

$$A_{mi} = A_{osi} \cdot f_p$$

где је:

A_{osi} - основна површина машине,

f_i - коефицијент поправке (таблица 2-13).



Слика 2-7. Основна површина машине

Таблица 2-13.

Основна површина машине (m ²)	Коефицијент поправке
већа од 16	2
12 до 16	2,5
4 до 12	3
мања од 4	4

Укупна површина коју заузимају машине једне радионице, укључујући простор потребан за опслуживање, одржавање и поправке, одлагање делова или транспортних јединица, манипулацију материјалом, пролазе између машина и сигурносну површину, је дата изразом (површина не обухвата главне транспортне путеве):

$$A_m = \sum_{i=1}^n A_{mi},$$

где је n - број машина у погону.

Потребно је напоменути да овај прорачун даје приближне резултате зато што је уведена претпоставка да је основа свих машина правоугаона, тако да у главном пројекту треба детаљно анализирати структуру свих потребних површина.

За оријентационе прорачуне површина монтажних радионица могу да се користе подаци добијени из пројеката већ изведених објеката. Дат је однос површине монтаже према површини погона машинске обраде (в. таблицу 2-14). Просечне вредности овога односа износе:

2. Општа упутства за пројектовање

- за појединачну и малосеријску производњу 50 - 70 %,
- за серијску производњу 25 - 40 %,
- за масовну производњу 18 - 25 %.

Таблица 2-14.

ПРОИЗВОДЊА	РАДИОНИЦЕ	$\frac{A_{mon}}{A_{mas}}$ (%)
Производња редуктора и хидрауличних погона	Мали, средњи, велики редуктори и хидраулични погони	31,5
Путнички вагони	Монтажа	94
Енергетска арматура високог притиска	Мала, средња и велика арматура	32
Рударска опрема	Хидро опрема	64
	Конструкције и конвејери	85
Мостовске дизалице	Монтажа	88
Алатне машине	Тешки стругови	82
	Тешке пресе	51
	Машине за брушење	71
	Машине за брушење зуба	62
	Аутоматске линије	96

Процена потребних површина може да се изврши применом показатеља "специфичне површине". Овај се показатељ односи на просечну вредност потребне површине у m^2 за једну машину, односно радно место. Вредности ових показатеља за поједине радионице дате су за машинске радионице у табелици 2-15 и за монтажне радионице у таблицама 2-16 и 2-17.

Површине одељења, радионица и постројења за опслуживање производње и обезбеђење услова рада обухватају помоћна одељења и радионице, постројења за производњу и расподелу енергије и постројења која обезбеђују потребне услове за рад, укључујући главне пролазе између појединих одељења или радионица смештених у једној згради и пролазе за случај пожара. Површине се одређују планирањем предвиђене опреме и радних места на основу прорачуна по технолошким нормама пројектовања, или помоћу показатеља.

При претходном одређивању (грубом прорачуну) величине помоћних површина можемо да добијемо из показатеља укупне специфичне површине. Величина помоћне површине износи знатан део укупне површине (30 - 60 %), тако да треба обратити посебну пажњу на димензионисање и постављање помоћних одељења и пролаза. Широки и дуги ходници, предимензионисана степеништа и санитарни објекти, сувишни простори и др. повећавају укупну површину.

2. Општа упутства за пројектовање

Таблица 2-15.

Просечна вредност специфичне површине у (m ²) за једну производну машину, за машинске радионице следећих производних програма	За производна одељења	Укупна за производна и помоћна одељења
Мотори за аутомобиле и тракторе	15 - 17	21 - 24
Шасије за тракторе и аутомобиле	12 - 16	18 - 23
Преносници за аутомобиле	11 - 13	16 - 18
Куглични лежаји	14 - 16	21 - 25
Стругови средње величине	17 - 21	24 - 28
Велике глодалице	20 - 22	30 - 35
Машине за кружно брушење	17 - 20	25 - 30
Екскаватори	65	90
Арматура за хемијска и енергетска постројења	-	25 - 28
Ситна арматура	-	18 - 20
Мостовске дизалице средње и велике носивости	30 - 50	40 - 65
Мали редуктори	20 - 23	28 - 30
Средњи редуктори	30 - 45	40 - 60
Велики редуктори	55 - 65	75 - 85
Опрема за ваљанице, металургију, ковачнице и пресераје:		
- за велике машине	145	170
- за средње и мале машине	60	75

2.13. Површине помоћних одељења и радионица

Одељење за припрему материјала служи за одсецање, забушивање отвора за центрисање при обради на стругу, грубо стругање итд. Број потребних машина за операције припреме материјала одређује се према технолошком процесу на исти начин као и за погоне машинске обраде.

При планирању опреме одељења за припрему треба обратити пажњу да се на машинама често ради са дугачким материјалом и да поред машина треба предвидети слободан простор за смештање материјала и полуфабриката. Специфична површина по једној машини (заједно са пролазима) обично износи 25 - 30 m².

Ово одељење се поставља у склопу складишта метала (обично код мањих радионица) или као засебни погон. Често рад одељења за припрему материјала треба потпуно уклопити у технолошки процес производње.

Одељење техничке контроле служи за контролу делова израђених у одељењу машинске обраде, појединих склопова у одељењу монтаже и финалних производа. Контролна места у погону машинске обраде обично се постављају на крају процеса, испред међуфазног складишта где се чувају

2. Општа упутства за пројектовање

делови до монтаже. У погонима се често предвиђа и међуоперациона контрола. На појединим местима се постављају контролни пунктови између машина.

Површина контролног одељења се одређује зависно од броја контролора и потребне опреме, при чему се узима да је потребно 6 - 8 m² за једног контролора. Просечан број контролора износи 2 - 6 % од укупног броја производних радника у машиноградњи.

Одељење за оштрење алата служи за централизовано брушење и глачање разних алата. Поставља се заједно са одељењем за издавање алата и приручним складиштем алата. У табlici 2-18 су дати орјентациони подаци за одређивање броја машина и специфичне површине за одељења за оштрење и ремонт алата.

Ремонтно одељење служи за одржавање производне и помоћне опреме, мале и средње текуће оправке и обављање свих радова који су везани са опслуживањем текуће производње. За приближно одређивање површине одељења за ремонт може да послужи таблица 2-19. Подаци за специфичну површину зависно од броја јединица које ремонт опслужује дати су у табlici 2-20.

2.14. Одређивање функционалних површина

При одређивању површина за постављање производне опреме у радионицама, основна пројекција машине се најчешће црта у облику правоугаоника. Површина радног места се добија постављањем нових површина са све четири стране основног правоугаоника, а да при томе нису детаљно позната функционална својства машине. Уколико основа машине знатно одступа од правоугаоника, овакав начин представљања доводи до погрешних резултата.

Код израде главних пројеката у циљу рационалног коришћења радног простора потребно је детаљно познавање свих функционалних површина (за опслуживање, одржавање, одлагање делова или транспортних јединица, поправку итд.), као и других фактора који утичу на величину укупне површине (димензије и маса радног предмета, процес, врста транспорта, организација производње итд.).

На слици 2-8 су дате функционалне површине за универзални струг. На слици 2-9 приказан је изглед радног места за глодалицу.

2. Општа упутства за пројектовање

Таблица 2-16.

Врста производа (монтажа)	Специфична површина у m ²
Камиони носивости до 5 t:	
- монтажа мотора и мењача	18
- укупна монтажа возила	26
Машине алатке	18 - 25
Мотори, пумпе, компресори	18 - 25
Дизел мотори (40 kW)	18
Дизалице	35 - 50

Таблица 2-17.

НАЗИВ РАДИОНИЦЕ	Специфична површина (m ²)	
	Укупна	Производна
ТЕШКА ИНДУСТРИЈА		
Производња редуктора и хидрауличних погона	74,0	57,0
Апаратура за подмазивање	31,0	22,0
Енергетска апаратура високог притиска	34,5	26,0
Дизалице и транспортна опрема	57,0	40,0
Рударска опрема	53,0	37,0
Производња вагона	57,0	39,2
Велике алатне машине и пресе	51,0	-

Таблица 2-18.

Назив одељења	Број машина алатки које се опслужују	Број машина у одељењу	Спец. површина за 1 машину у одељењу
Одељење за оштрење алата	до 50	3	8 - 10*
	100 - 150	4 - 6	
	150 - 200	6 - 9	
	200 - 300	9 - 13	
	300 - 400	13 - 17	
	400 - 500	17 - 21	
	500 - 600	21 - 25	
Одељење за ремонт алата и прибора	100 - 200	4	17 - 22*
	200 - 300	5	
	400	6	
	500	7	
	600	8	
* Веће вредности специфичне површине се односе на радионице са мањим бројем машина.			

2. Општа упутства за пројектовање

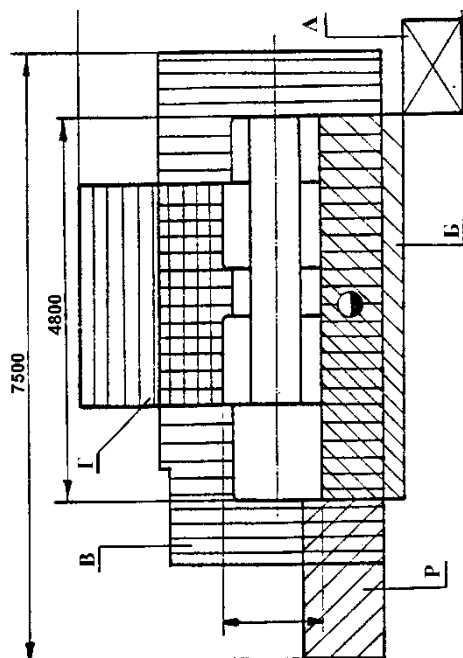
Таблица 2-19.

Број комада производне и помоћне опреме у фабрици	Број машина ремонтног одељења	Површина ремонтног одељења у m ²
100	2	54 - 56
150	3	80 - 85
300	6	160 - 165
500	9	225 - 235
600	10	250 - 260

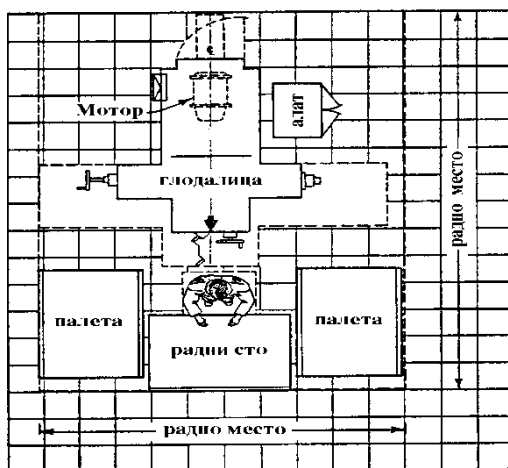
Напомена: Ови нормативи не обухватају складишта резервних делова.

Таблица 2-20.

Број јединица основне опреме	≤ 20	40	60	100	160	≥ 160
Просечна површина (m ²) по јединици опреме	46	44	42	40	38	36



Слика 2-8. Функционалне површине за универзални струг (А - одлагање материјала, Б - опслуживање машине, В - одржавање, Р - ремонт, Г - зона опасности)



Слика 2-9. Изглед радног места за обраду делова на глодалици

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-a. 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:

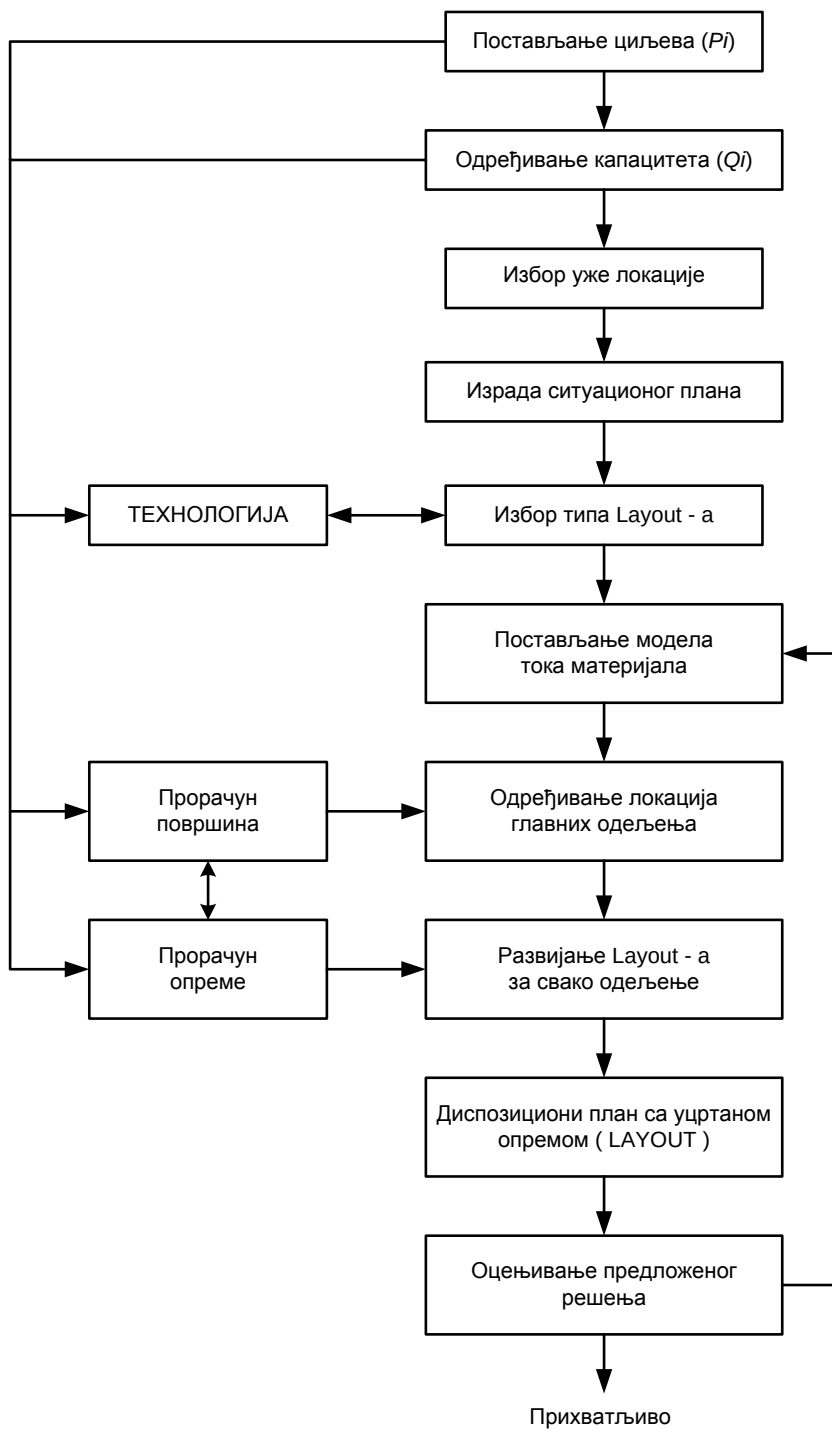
- промене производног програма (промена асортимана, увођење новог производа),
- проширења обима послова,
- промена проузрокованих технолошким прогресом,
- увођења нових технологија,
- замене опреме,
- усаглашавања производње са предвиђеним планом, итд.

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.



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 извешан 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

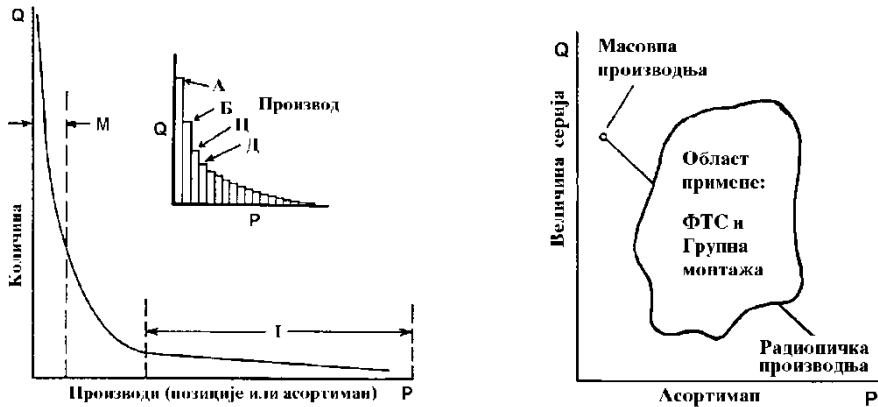
Основни елементи на којима се заснива избор решења производног постројења и обликовање његовог layout-а су производи (P_i) који треба да се произведу и количине (Q_j) колико треба да се произведе од сваке позиције. Подаци о **P** и **Q** се добијају из програма производње и потребно је у почетној фази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

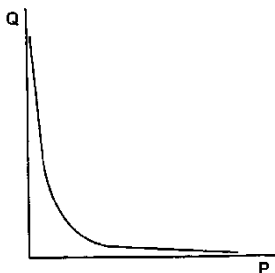


Слика 3-2. $P - Q$ дијаграм, према R. Muther-у

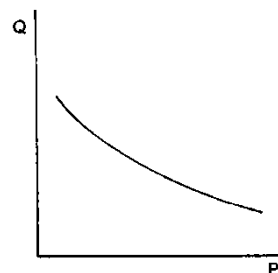
На десном крају криве присутан је велики број различитих производа који се израђују у релативно малим количинама. Ово су услови погодни за појединачну или малосеријску производњу; предвиђа се тзв. радионичка производња, односно layout се формира према процесу обраде. Опрема је универзална, погодна за 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-a

Основу за пројектовање диспозиције опреме (формирање layout-a) 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

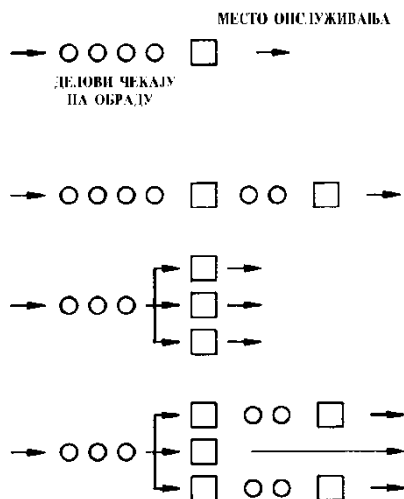
основна функција је чување залиха, тако да је некада значајније искоришћење простора од трошкова транспорта.

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, рендисалки, глодалица итд.)

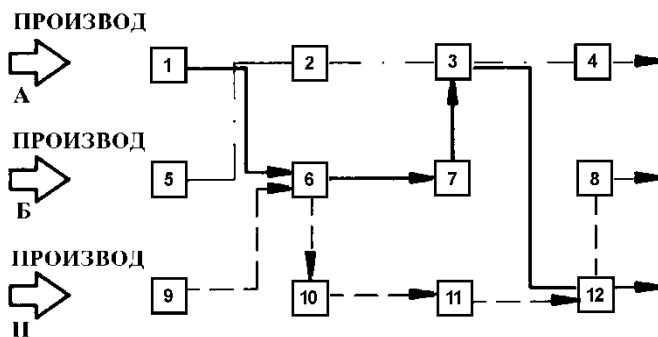
Свака позиција (комад) може да има различити скуп операција и различити редослед њиховог извођења. Позиција се обрађује следећи редослед процеса, али пошто поступак који се изводи и редослед извођења процеса варира зависно од сваке позиције из датог скупа делова, оптерећење радних места (машина) је променљиво 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.

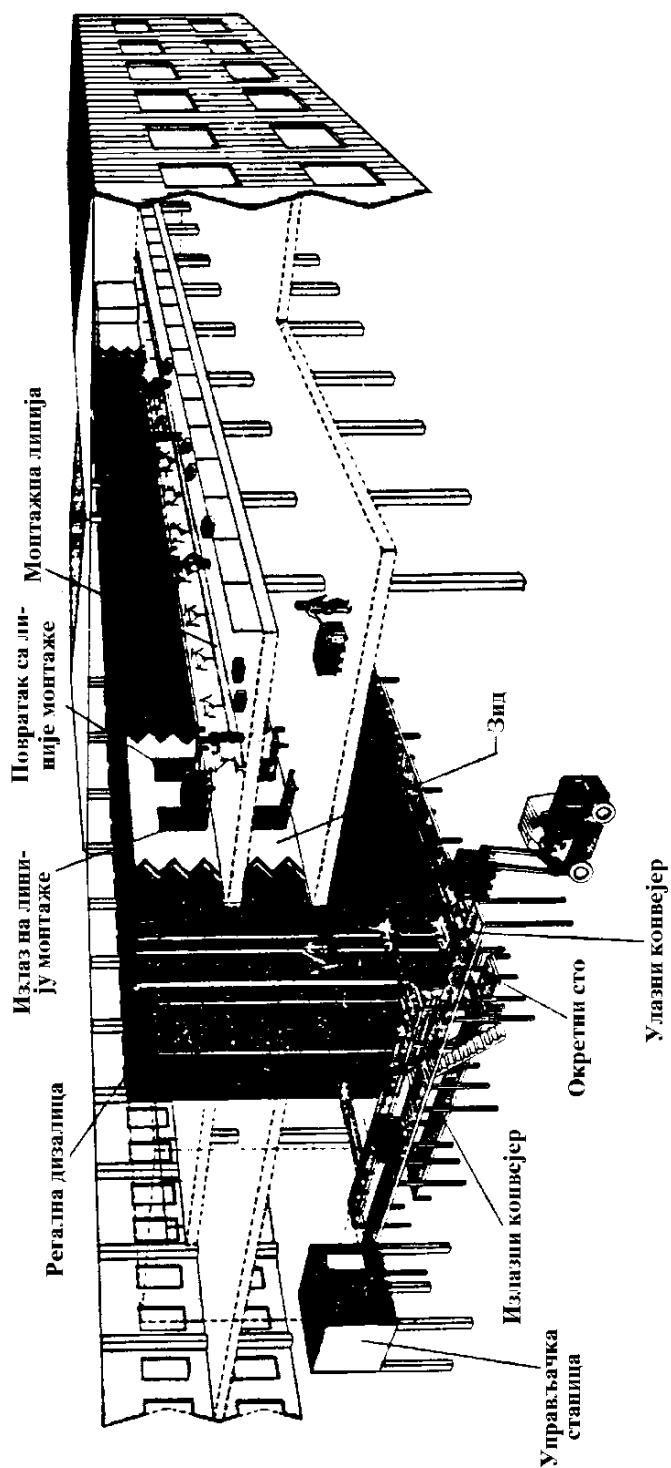
3. Layout

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-a, тако да за један иницијални распоред опреме могу да се израчунају укупни трошкови транспорта. Побољшање layout-a 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:

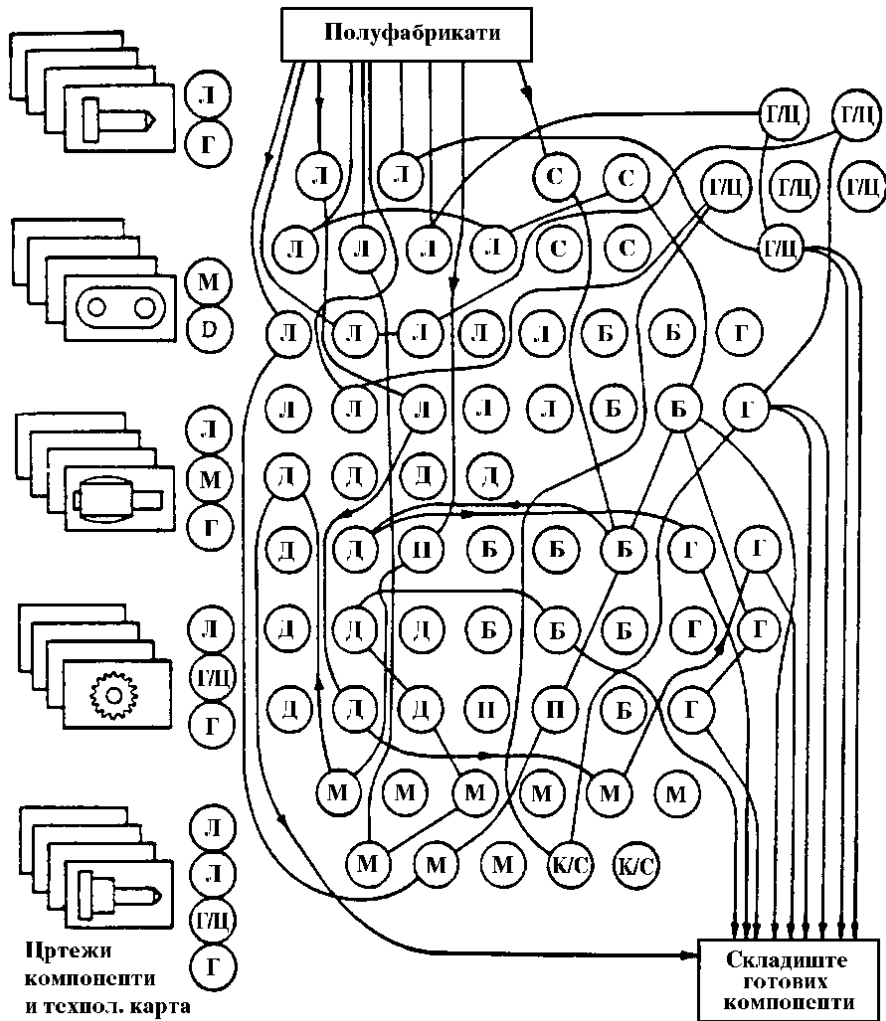
- Погодни су за мале обиме производње када производни програм садржи широки асортиман производа.
- Економични су у случајевима када природа система захтева флексибилност (универзална производна и транспортна опрема). Захтевана флексибилност може да буде различита у: обиму сваке наруџбине, промени асортимана 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

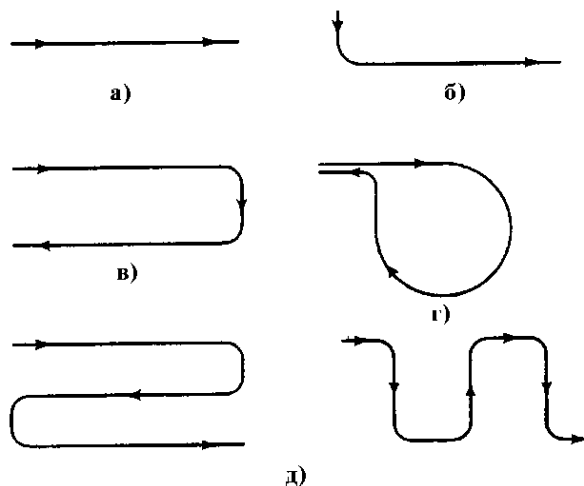
3.6. Континуални системи

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.

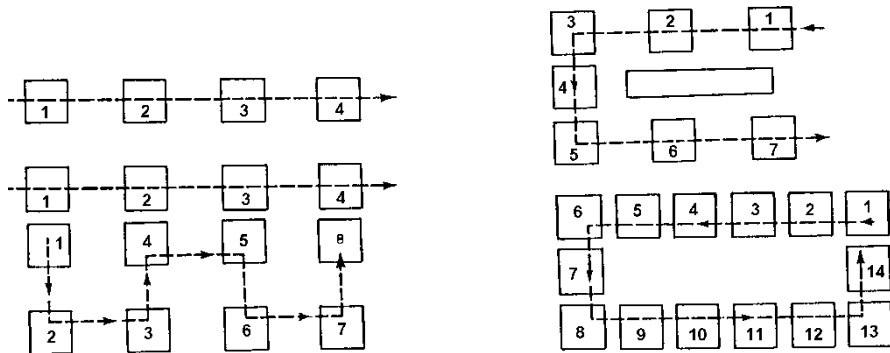
Распоред радних места у погонима монтаже треба да одговара редоследу кретања делова (компонената), подсклопова и склопова по етапама монтаже. При томе layout треба да обезбеди кретање компонената између појединих монтажних операција по најкраћим путањима.

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



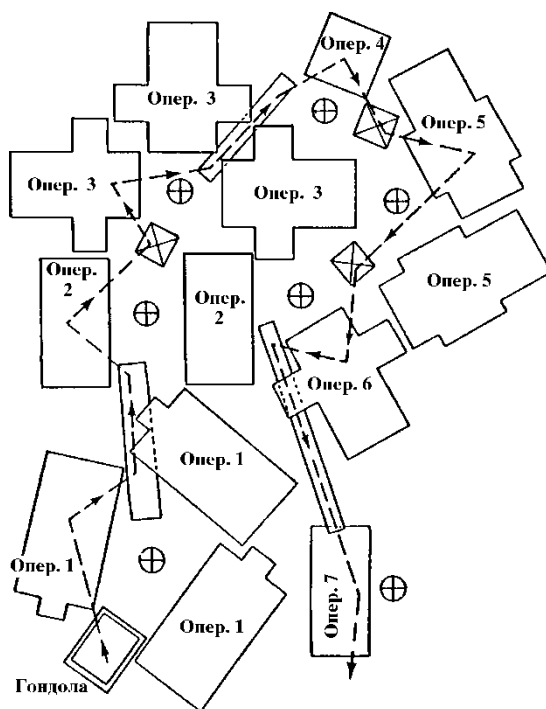
Слика 3-10. Layout код линијске птоизводње

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:

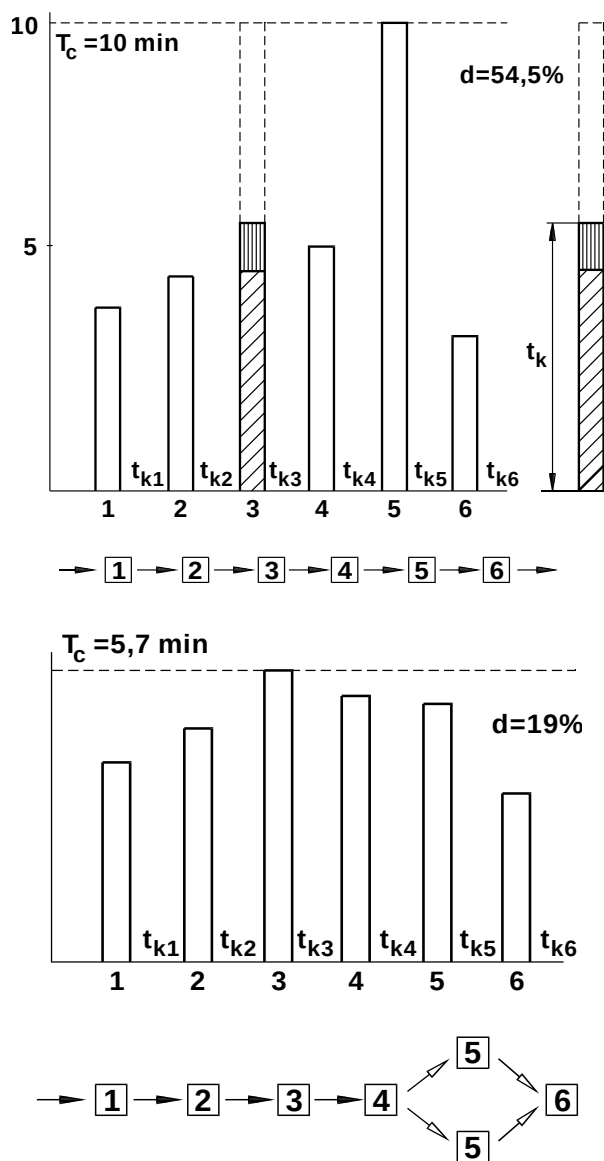
T_c - време такта,

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 корака уравнотежења.

Слика 3-12. Линија монтаже пре и после првог корака уравнотежења.

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 сталан 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 (добиање 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.

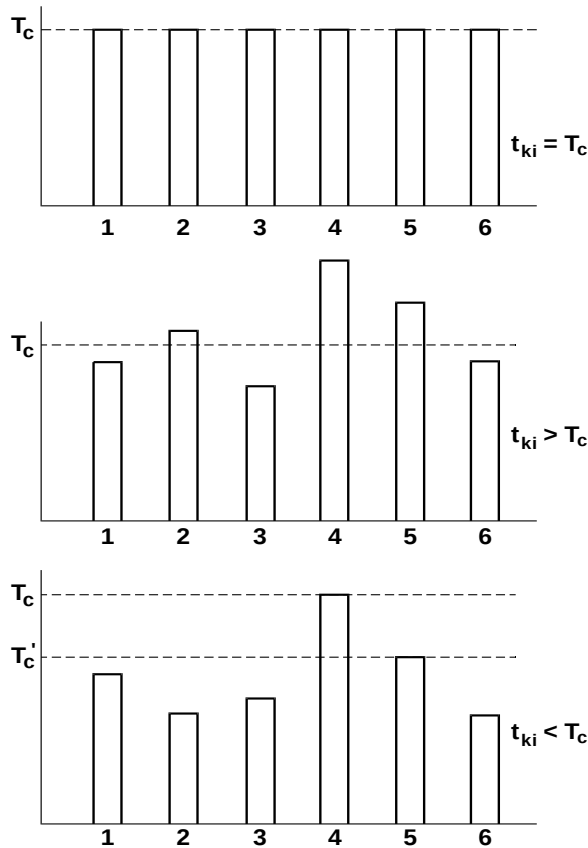
Када је задато време такта, задаци (операције) се алоцирају различитим тактовима (радним местима) све док се не поремете задаци технолошког редоследа и док укупна времена појединих задатака не пређу време такта.

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 /Maynard 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 најутицајнији 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 %
• флуктуација 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.

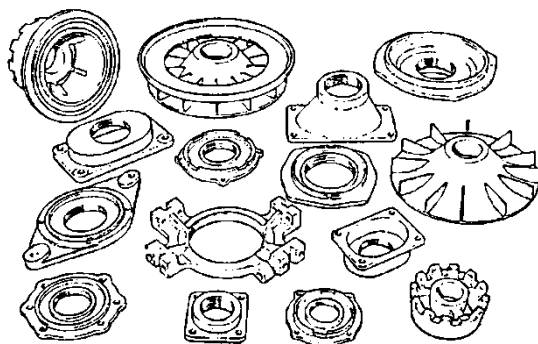
Групна технологија представља организацију производних средстава у групе или ћелије, где свака од њих преузима потпуну производњу једне фамилије компонената са сличним производним (технолошким) карактеристикама. El Rayah и Hollier /1970/ дају дефиницију: *"Групна технологија је дефинисана као техника 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 оваког 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

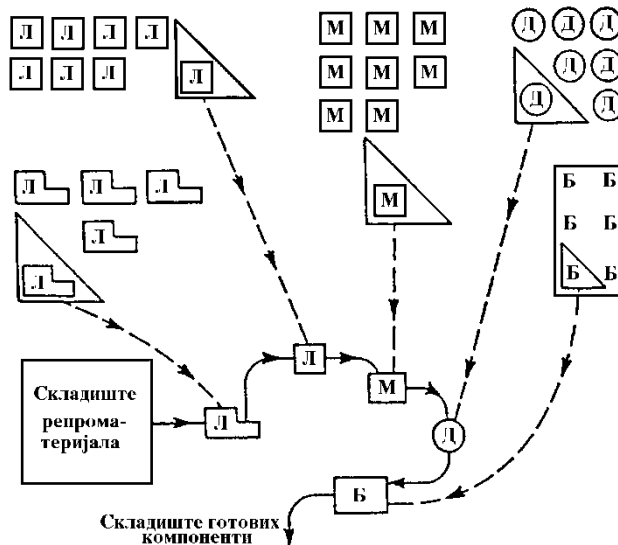
9												
8												
7												
6												
5												
4												
3												
2												
1												

Слика 3-15. Пример класификације делова

3. Layout

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

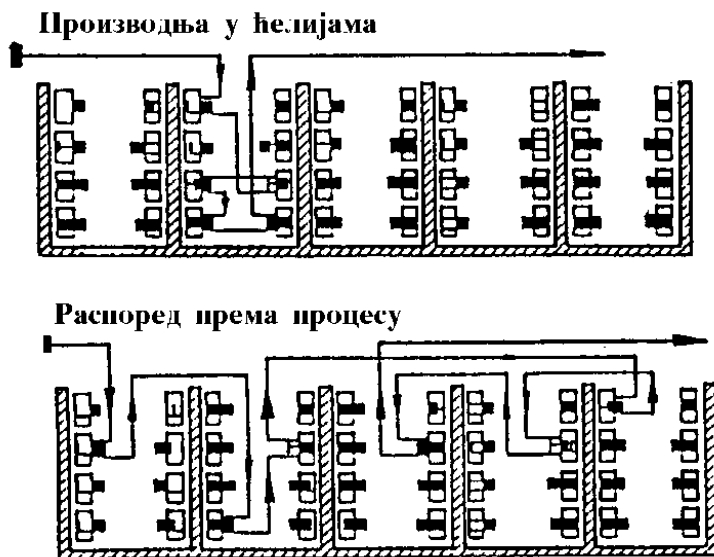
Назив класе	Број класе	Основне карактеристике делова
Елементи за спајање	1	Завртњи, навртке, подлошке, арматура за спајање итд.
Тела округлог облика	2	Вратила, осовине, вратила са зупчаником, спојнице, прирубнице итд.
Кућишта	3	Редуктора, лежајева итд.
Равна тела	4	Плоче, клизачи, клинови, зупчасте летве 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 компонената 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.

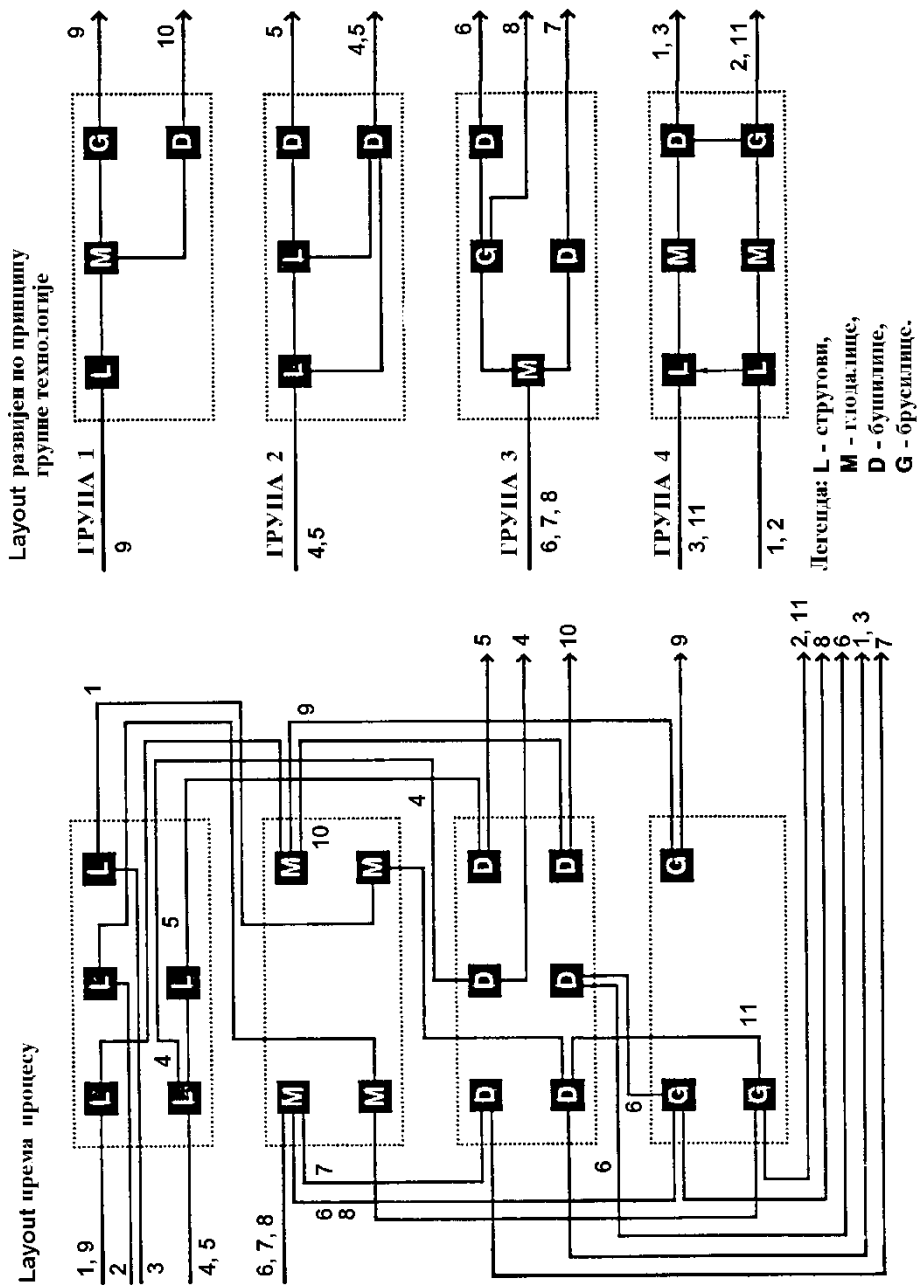


Слика 3-17. Производња у ћелијама

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 трошкова за зграду (до 20 %).
- Повољније искоришћење опреме него у линијској производњи.
- Релативно висока продуктивност.
- Велика инвестициона улагања.

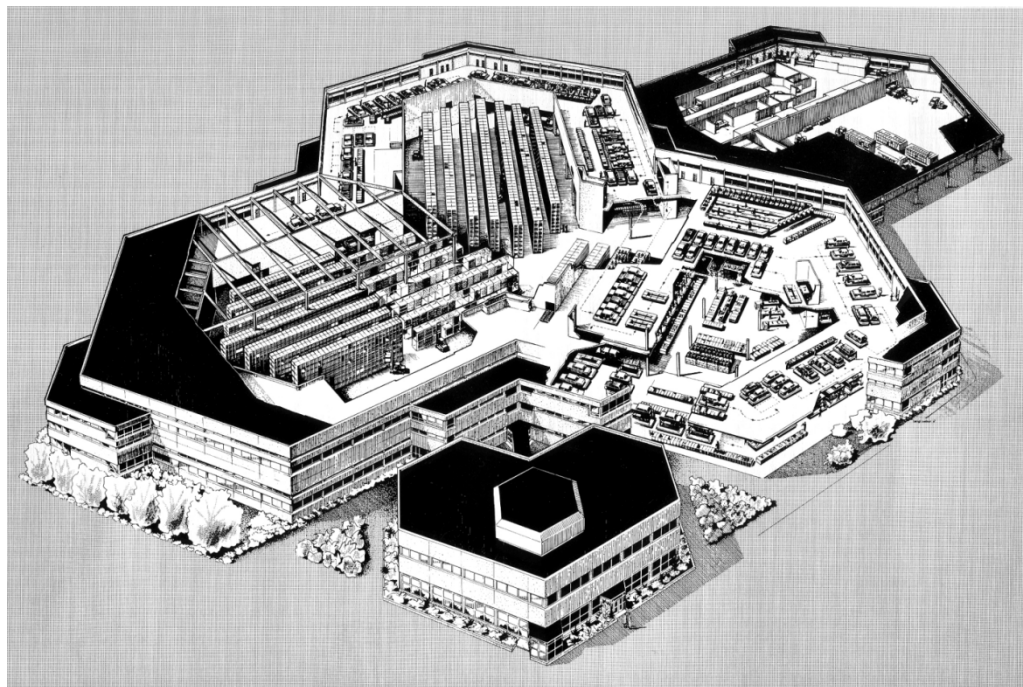
3. Layout



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

Групу 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.



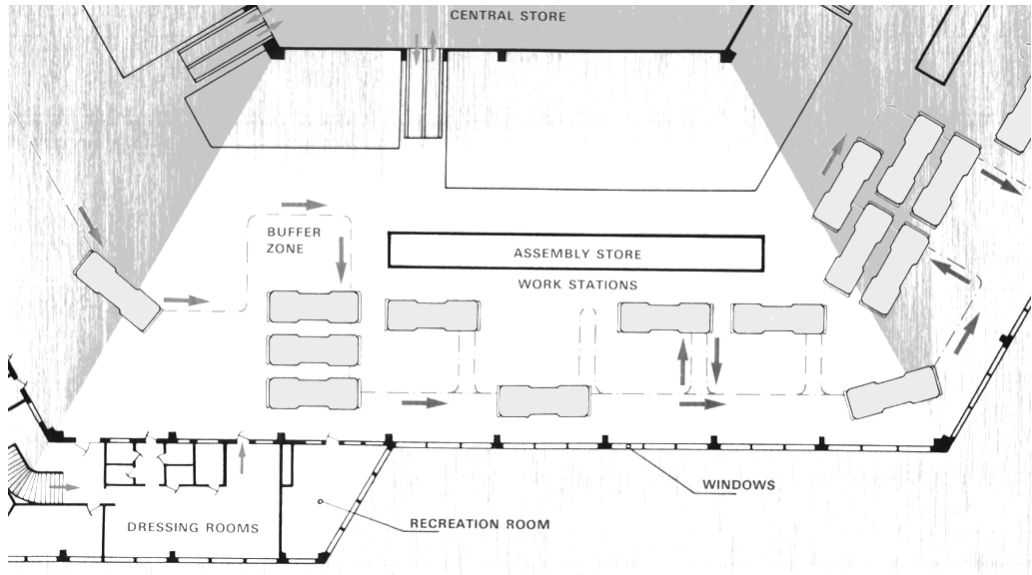
Слика 3-19. Пресек кроз фабрику у Калмару (Волво)

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

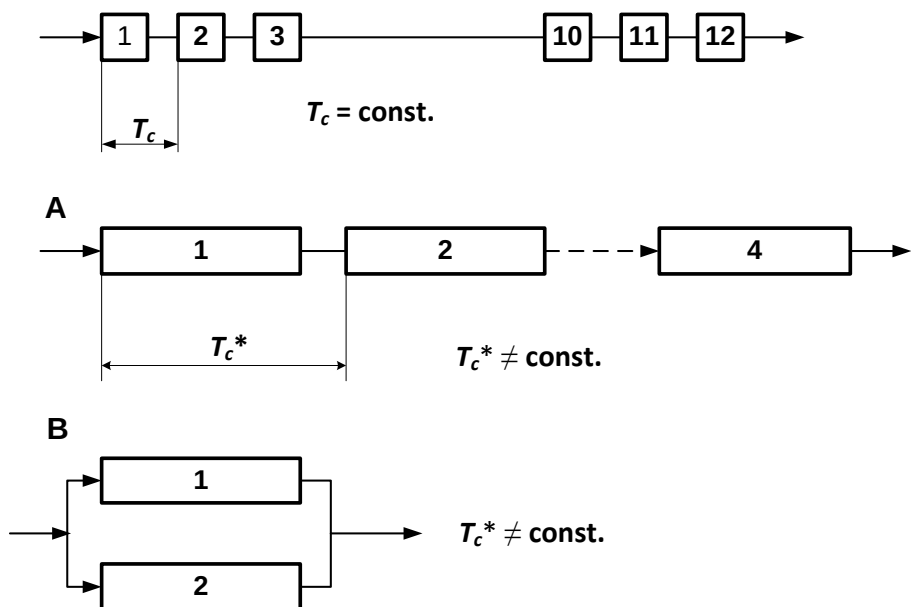
линија се снабдева из приручног складишта (assembly store). Попуњавање приручног складишта се обавља из централног складишта (central store). Интересантно је напоменути, да сваки радни тим, који изводи групу технолошки сличних операција, има посебну гардеробу (dressing room) у оквиру своје радне зоне.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



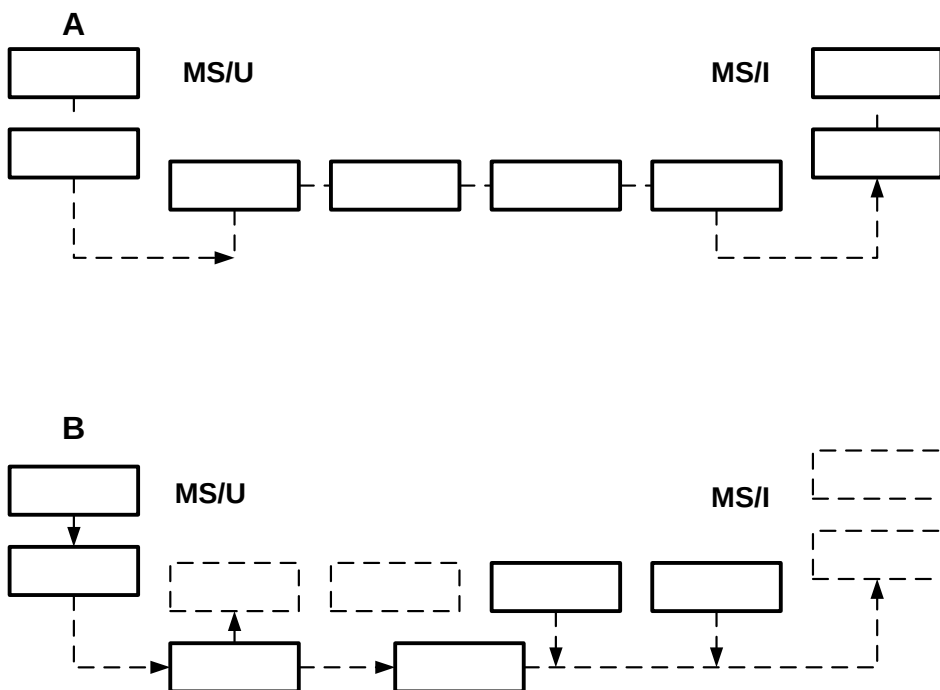
Слика 3-20. Layout дела монтаже у фабрици у Калмару (Волво)

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-a 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 обеда), итд.

3.8. Системи са фиксним позицијама производа

Код решења layout-а са фиксним позицијама производ је стациониран док му се ресурси (људи, опрема, алати и материјал) приносе. 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,

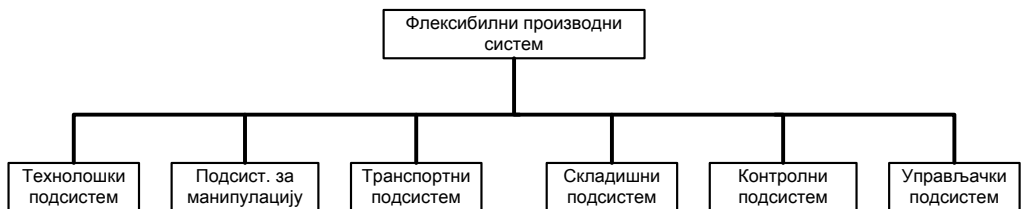
3. Layout

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 једношених 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/.

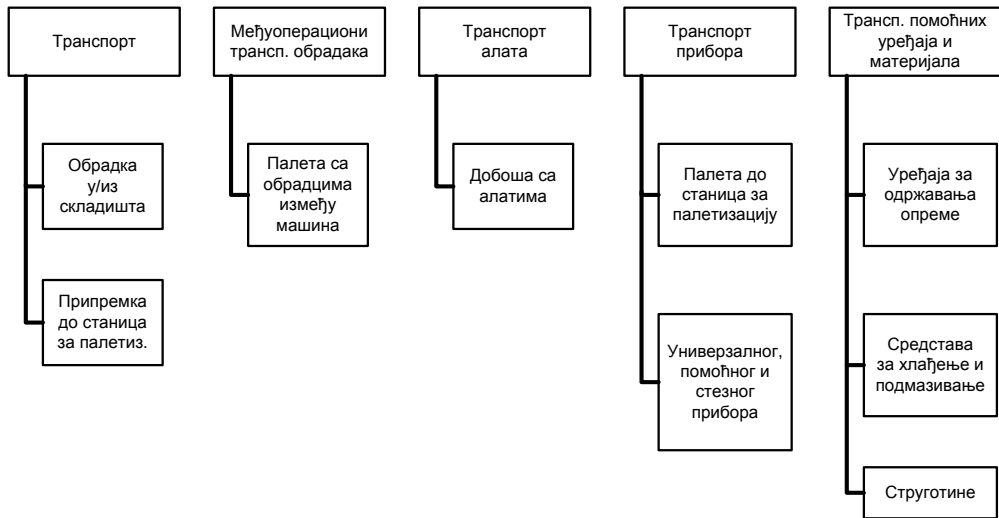
Систем аутоматски вођених колица (Automated Guided Vehicle System - AGVS) је савремени систем флексибилног подног транспорта. Састоји се од аутоматски управљаних (**AGV**) колица, која следе транспортну стазу (линију обележену на поду, укупани кабл у поду, маркере који се налазе дуж пута којим пролазе 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, виљушкар (в. слику 13-72, Jungheinrich **AGV** виљушкар носи шатл у палетном складишту).

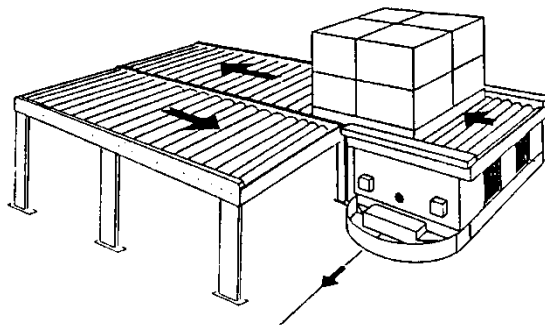


Слика 3-24. Транспортни подсистем **FPS**-а

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.

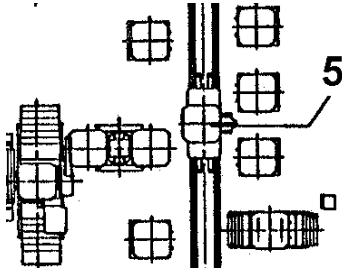
Таблица 3-2.

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

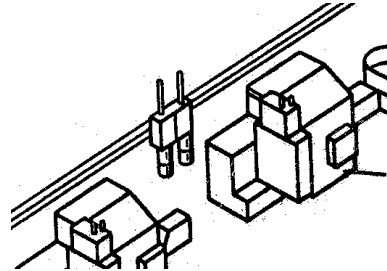
Шинска аутоматска колица примењују се у системима у којима треба транспортовати делове већих габарита и велике масе (слика 3-27). Возило се креће на две шине постављене на поду погона, а између њих поставља се трећа шина за вођење (напајање и управљање). Шинска аутоматска колица имају већу брзину кретања 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 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). Уређај за вешање терета може бити у облику куке или специјалног захватног 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.



Слика 3-27. Шинска аутоматска колица



Слика 3-28. Флексибилни једношени транспортер

3.9.2. Основне карактеристике флексибилне производње

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

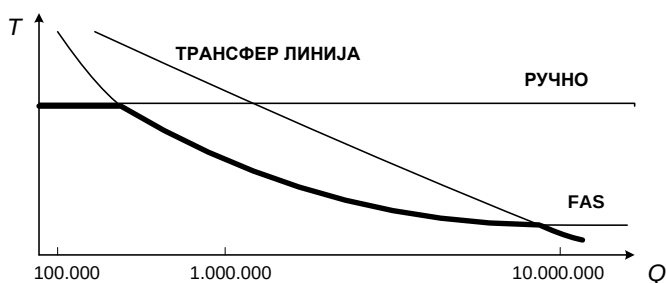
- производна флексибилност је лакоћа са којом систем може да се подеси да производи различите делове,
- флексибилност машина је лакоћа којом се машине могу да подесе (алати, прибори, позиционирање, програми итд.) да израђују делове из дате фамилије,
- флексибилност процеса је способност да се производи 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.

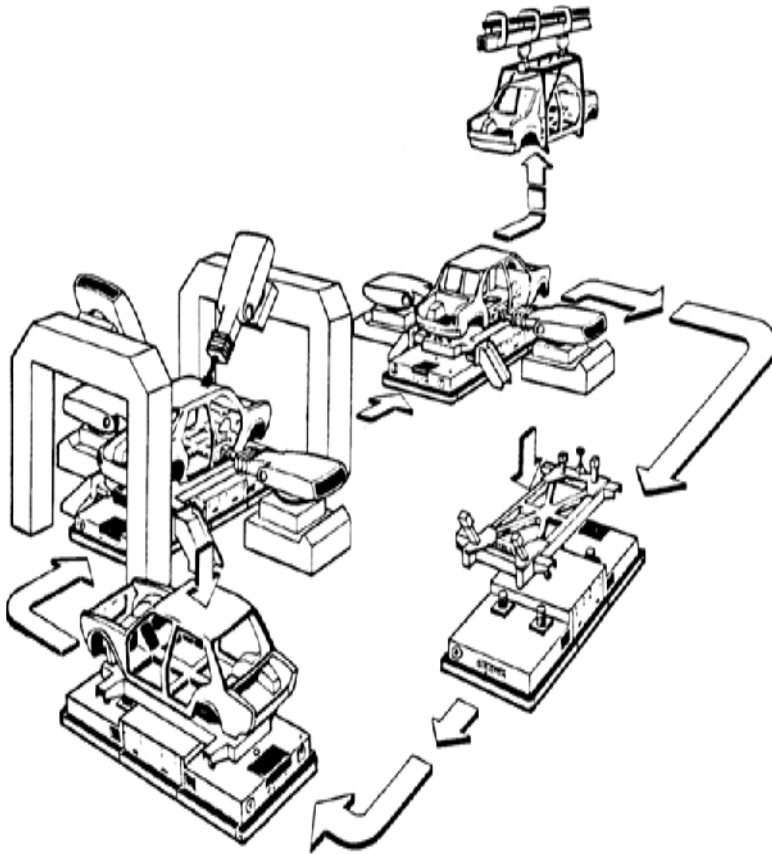
Упоређење **FPS** и **FAS** (флексибилна производња у монтажи):

- 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 Wentrwill-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.); укинута 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.

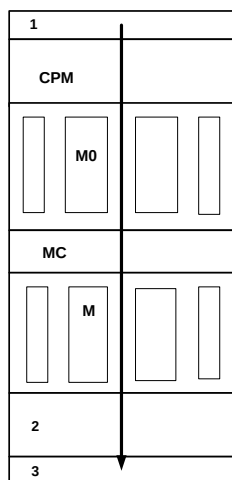
У флексибилним производним системима знатно се редуцира коришћење виљушкара у погонима тако да долази до измене класичног layout-а са дугачким и широким ходницима, односно главним саобраћајницама које повезују све фазе производње (нпр. решење на слици 3-31). Производња по природи постаје хелијска тако 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.

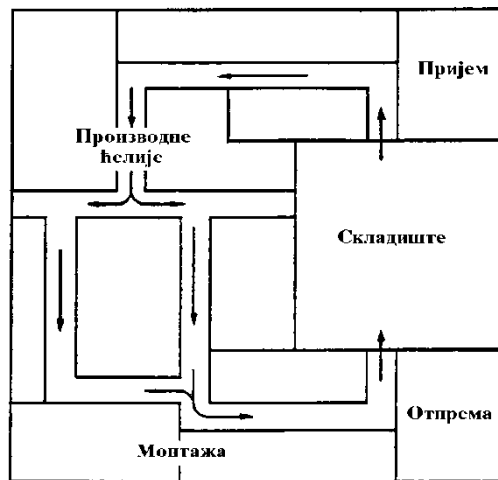
Основни облици оваквог модела су следећи: складишни простор је постављен бочно у односу на производни погон (слика 3-33), или је постављен између два производна погона. Треба напоменути, да складиште може да буде директно везано са производњом или преко система за комисионирање (нпр. код монтаже).

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

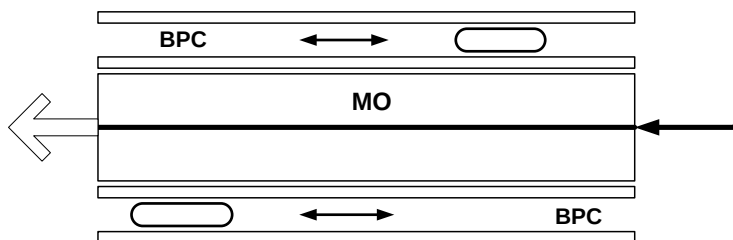
дато је решење погона фабрике Murata Machinery. **FPS** се састоји од девет обрадних центара и високорегалног складишта повезаних **AGV** колицима. Складиште има 288 палетних места и служи за чување репро материјала, радних предмета после појединих операција (међускладишта) и готових производа.



Слика 3-31. Класичан layout



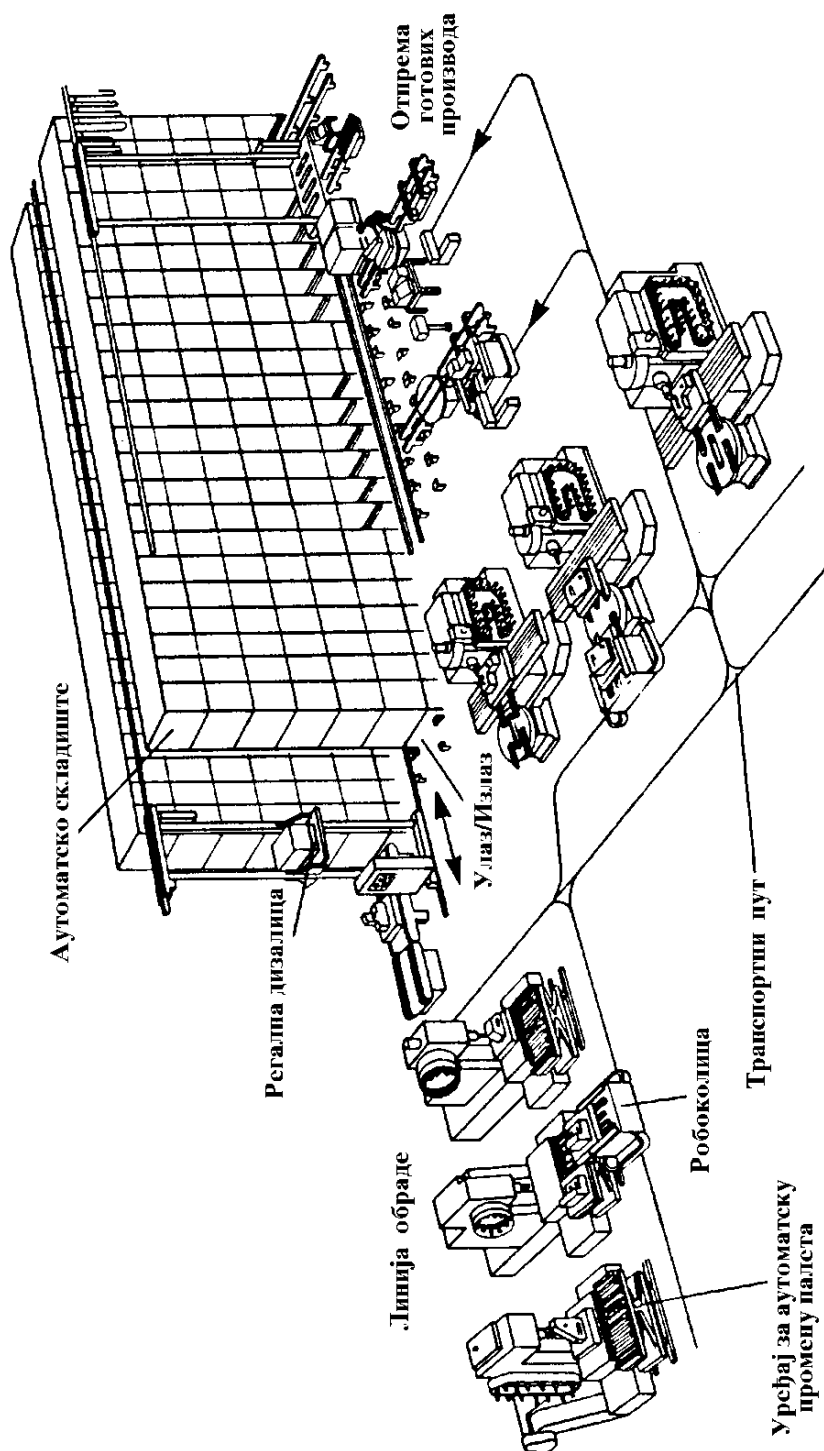
Слика 3-32. Layout "O" облика



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).

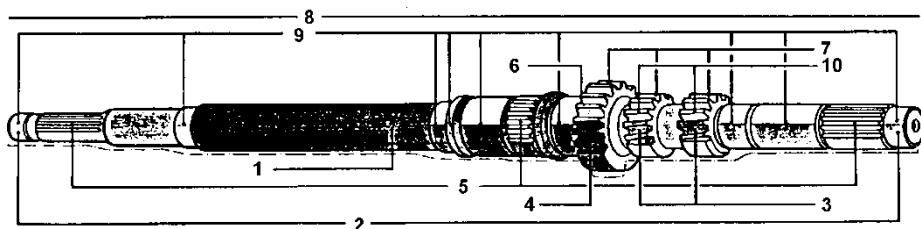


Слика 3-34. Погон фабрике Murata Machinery



Слика 3-35. Радно место са три машине

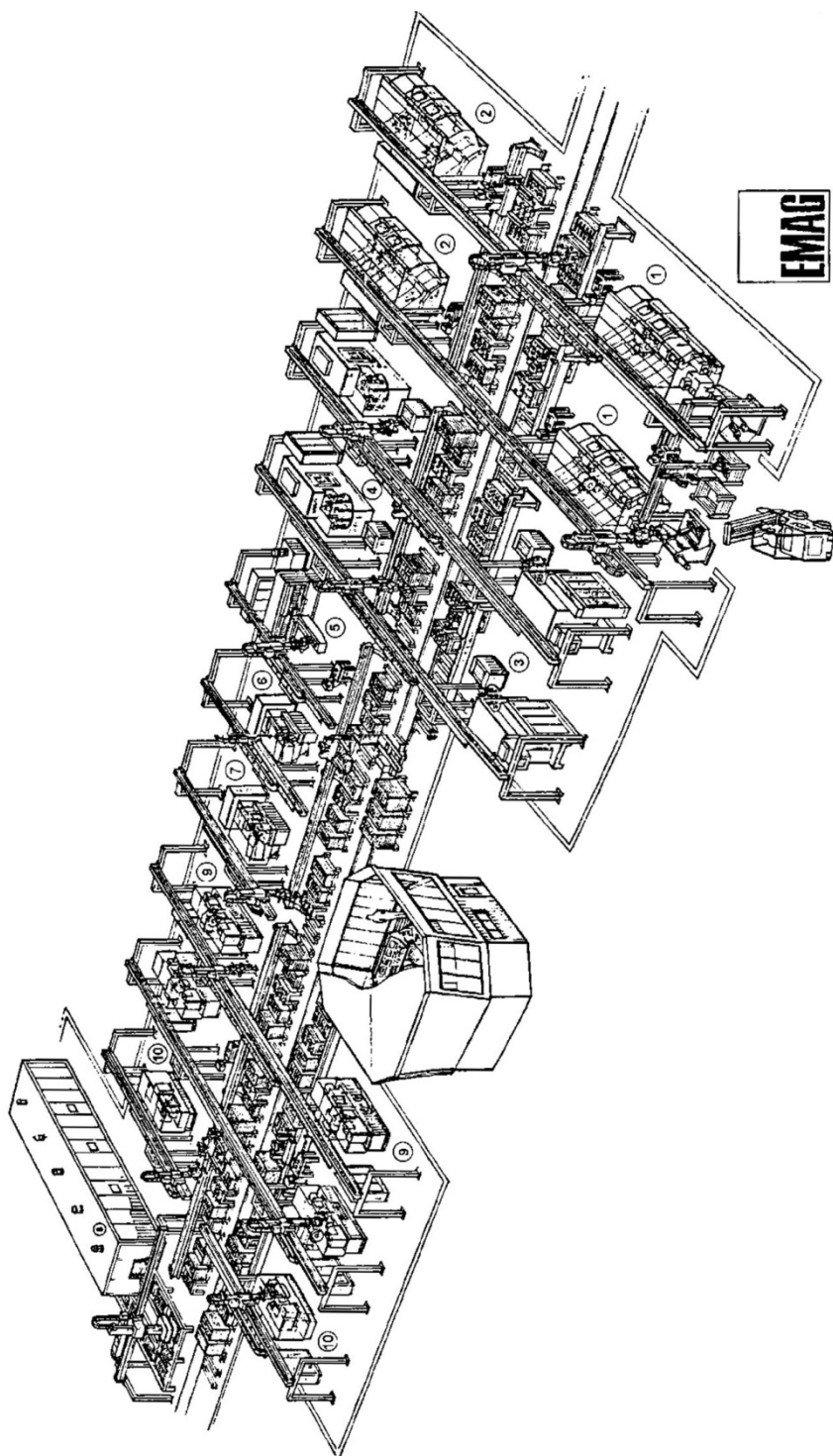
У даљем тексту ће се дати примери извођења комбинованих система у савременој производњи. На слици 3-36 је приказано вратило редуктора, представник фамилије делова који се обрађују у флексибилном производном систему фирме EMAG (Немачка). Основне операције, број машина, време такта и степен искоришћења 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

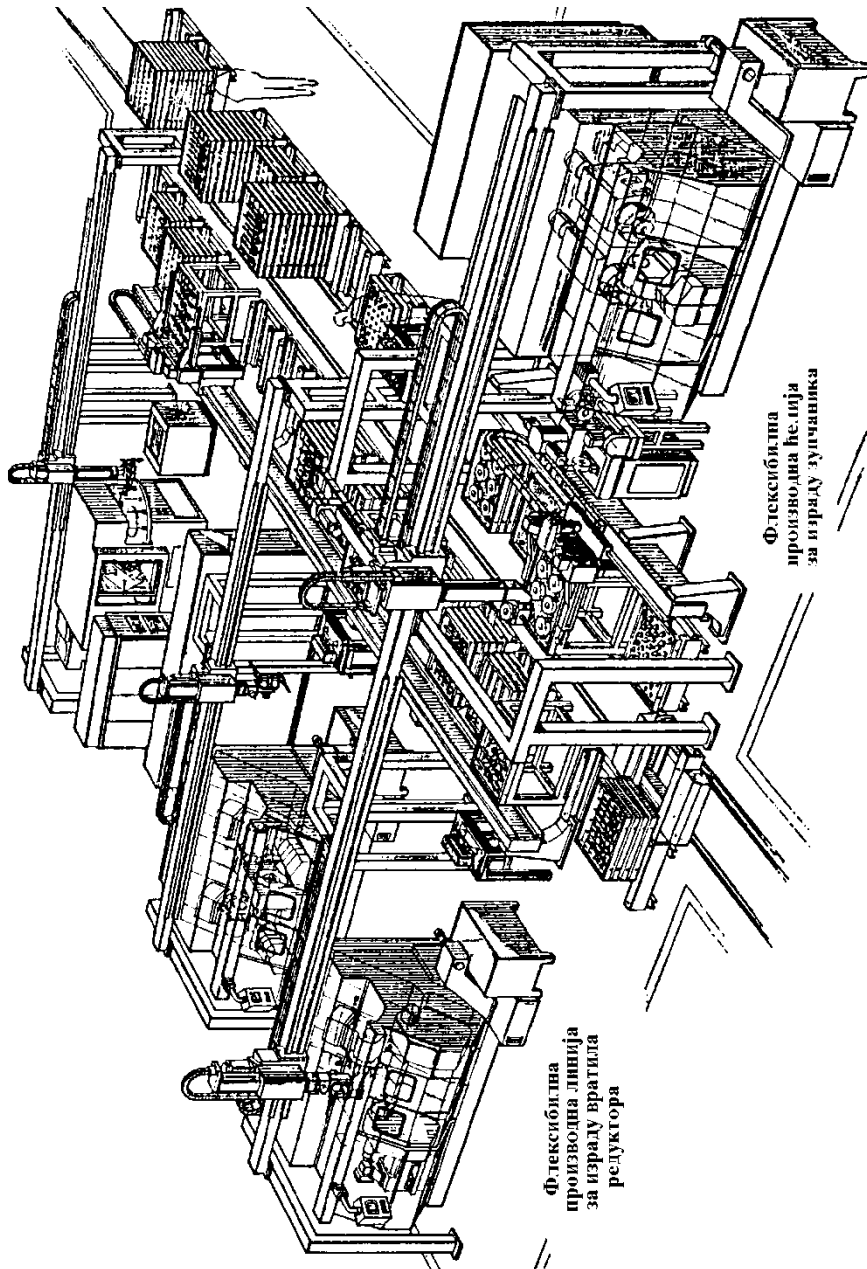
Таблица 3-3.

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 %

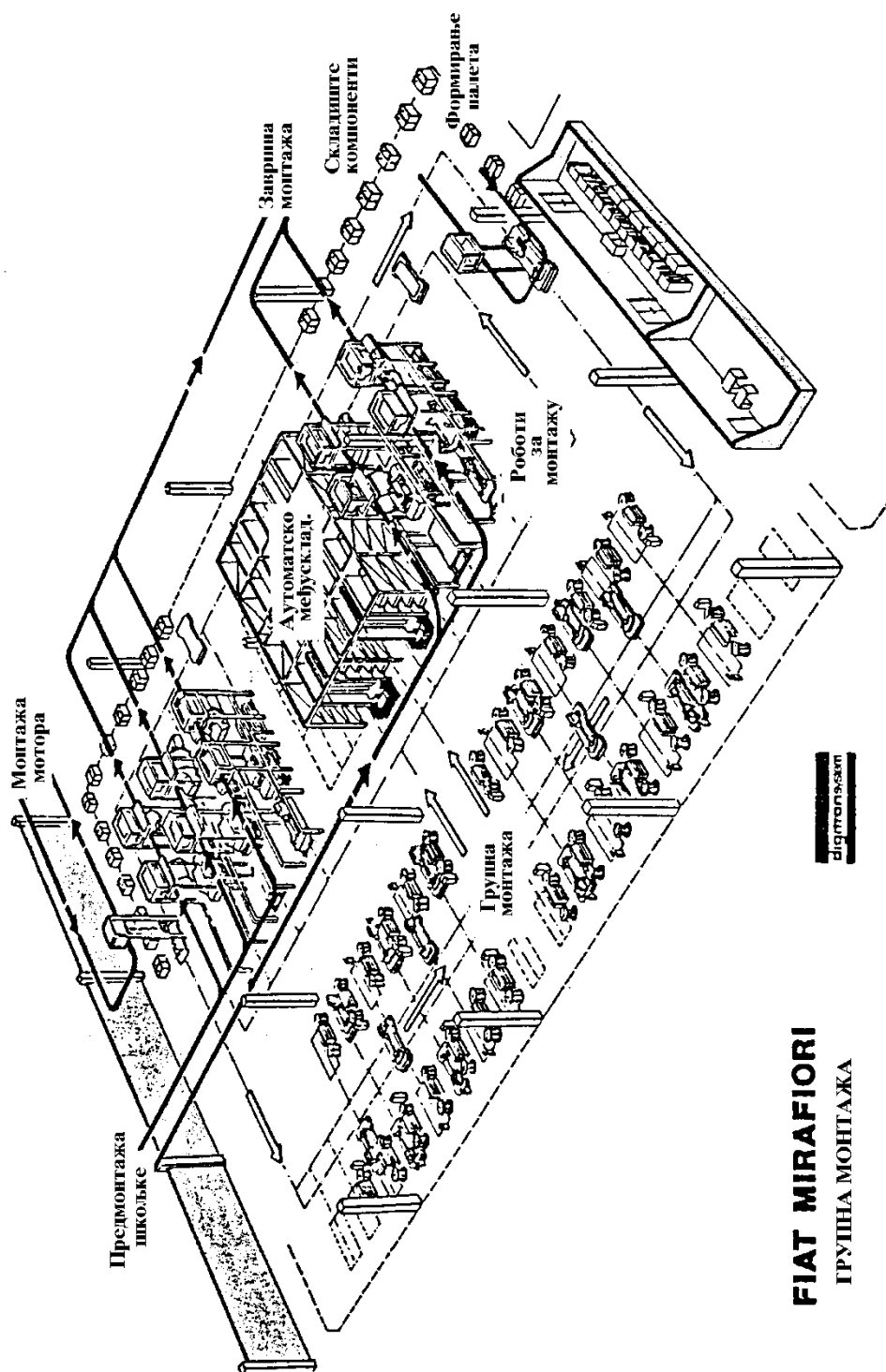


Слика 3-37. Флексибилни производни систем EMAG

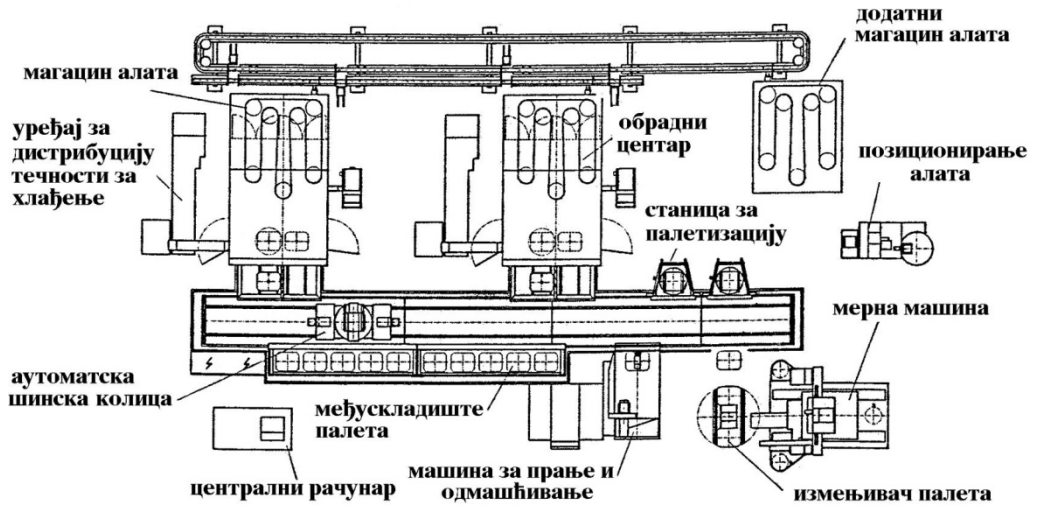
На слици 3-38 је дат изглед једне флексибилне производне линије за израду вратила и флексибилне производне ћелије за израду зупчаника. На слици 3-39 дато је решење групе монтаже у аутомобилској индустрији FIAT Mirafiori. На сликама 3-40 до 3-43 дате су флексибилне производне линије "MAHO", Немачка, "VOLVO",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



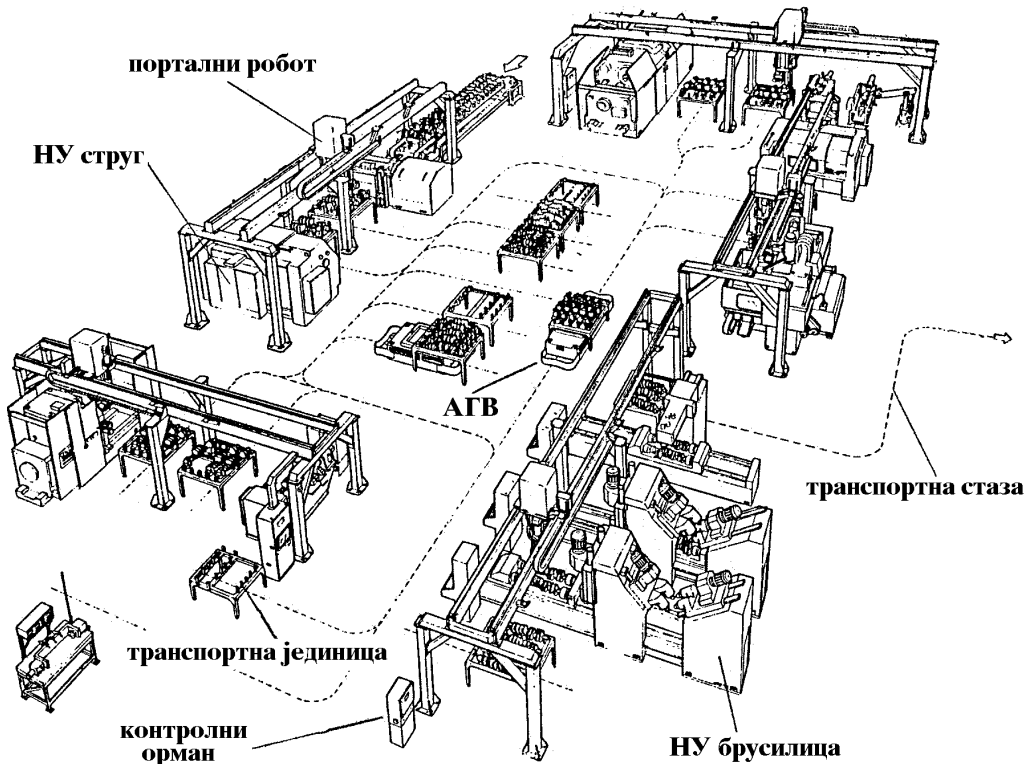
Слика 3-38. Флексибилна производња вратила и зупчаника.



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

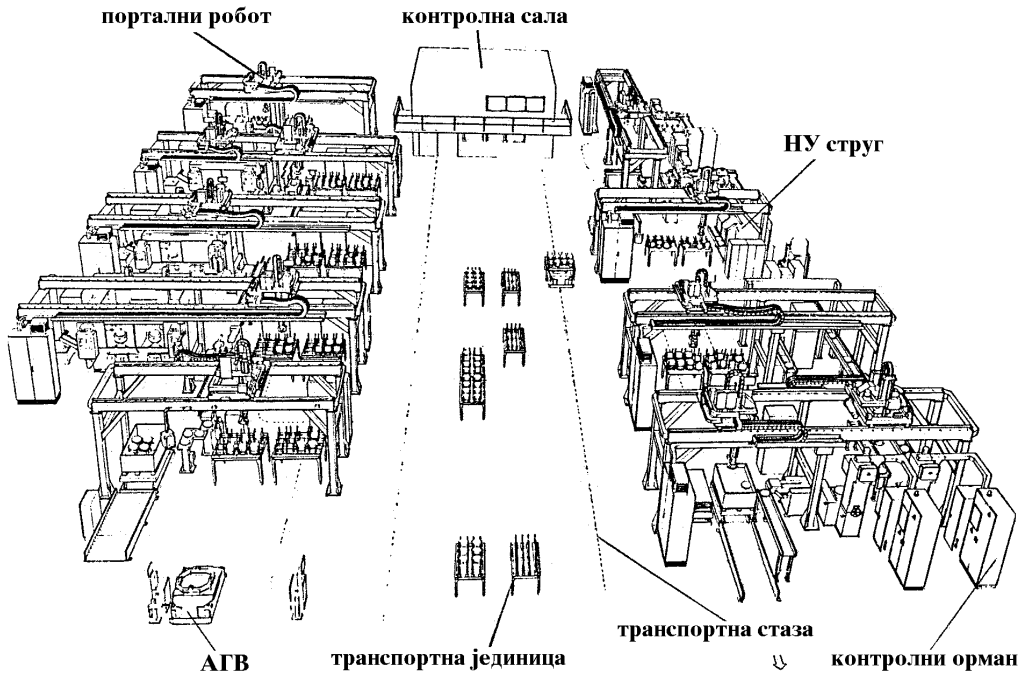


Слика 3-40. FPS "MAHO", Немачка, транспорт - аутоматска шинска колица /FMS Magazine/

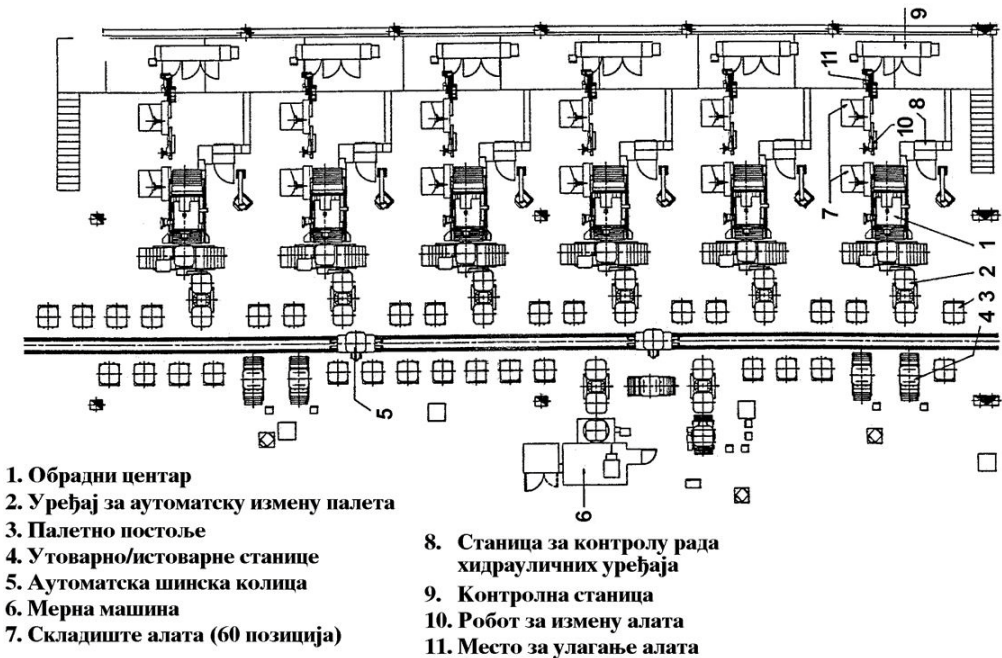


Слика 3-41. FPS "VOLVO", производња радилица за моторе, транспорт AGVS и портални манипулатори /FMS Magazine/

3. Layout



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

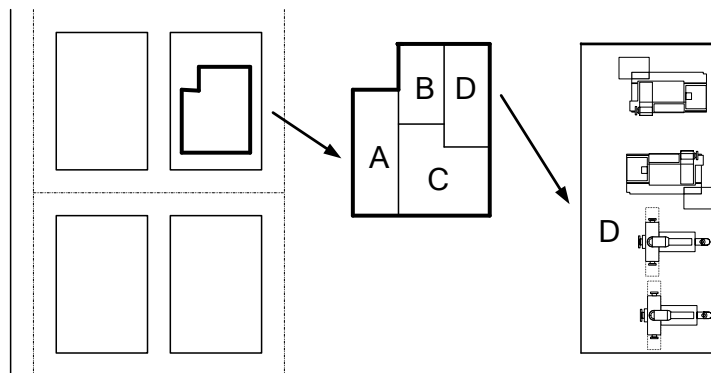


Слика 3-43. FPS "MANDELLI", Италија, транспорт-аутоматска шинска колица /FMS Magazine/

4. РАЗМЕШТАЈ ОПРЕМЕ И ПРОСТОРА

Размештај опреме и простора може да буде дефинисан као процес добијања оптималне диспозиције физичких средстава једне производне јединице. При томе, диспозиција физичких средстава обухвата формирање следећих просторних структура (слика 4-1):

- распоред објеката у оквиру ситуационог плана (1. фаза),
- распоред радионица и одељења унутар једног објекта (2. фаза), и
- распоред машина, односно радних места у оквиру једног погона (3. фаза).



Слика 4-1.

Значај добијања најбољег могућег распореда производних средстава и производног простора, оптимирајући релативну локацију према датом критеријуму, познат је већ дуже времена и на том пољу су извршена многа истраживања /Immer, Mallik, Gaudreau, Moor, Apple, Muther, Buffa, Francis, White и други/. Наведена истраживања су првенствено теоријског карактера, али многа од њих су се показала погодна и за примену у пројектантској пракси.

4. Размештај опреме и простора

Ефикасан распоред опреме и простора у оквиру производног погона мора да задовољи неки или све од следећих критеријума:

- Да се остваре минимални трошкови унутрашњег транспорта. Постиге се правилним избором транспортног система и избором релативног односа локације опреме, радних места и радних простора. Квалитет решења се оцењује преко броја транспортних циклуса, пређеног пута, транспортног учинка (производ из обима транспорта и одговарајућег растојања транспортовања), учешћа ручног манипулисања материјалом итд. Да се минимизирају повратне путање и избегну по могућству укрштања транспортних путева. Размештај опреме и простора треба да обезбеди да рад тече у низу по одређеном редоследу само у једном смеру, односно свуда где је то могуће да се елиминишу повратне трасе.
- Да се остваре минимални инвестициони трошкови. Размештај директно утиче на формирање инвестиционих трошкова потребних за реализацију неопходног простора. Један од индикатора ефикасности може да буде однос простора употребљеног за опрему према простору који се користи за складиштење материјала у процесу.
- Да буду минимални експлоатациони трошкови. Оптимални распоред производне опреме може да редуцира укупне трошкове унутрашњег транспорта, да смањи залихе недовршене производње, омогући ефикасније функционисање целог погона и има извесан позитиван утицај на управљање производњом.
- Размештај опреме и производног простора треба да омогући флексибилност у производњи. Овим се постиже да погон може да се прилагоди различитим условима производње (промена производног програма, повећање обима производње, проширење асортимана итд.).
- Да се минимизира укупно време потребно за извођење циклуса производње.
- Да се минимизира број разлиитих типова уређаја унутрашњег транспорта.
- Да се обезбеде погодни радни услови, сигурност и удобност запослених.
- Да се омогући несметано извођење производног процеса, односно, ефикасно коришћење машина, особља и расположивог простора.
- Да се омогући проширење погона не ометајући главне технолошке токове.
- Да се омогући лако управљање производњом.

Поред различитих циљева који могу да се поставе пројектанту, присутно је низ ограничења која утичу на формирање решења, од којих ће се нека навести:

- постојећа зграда (положај стубова, зидова, рампи за пријем и отпрему, носивост пода, складишне површине, канцеларије, осветљење,

инсталације за вентилацију и одсисавање прашине, снабдевање водом и енергијом итд.),

- трошкови преуређења постојећег објекта (грађевински елементи, премештање опреме и инсталација),
- ниво буке, вибрације и потреси, одржавање уређаја,
- геометрија новопроектоване зграде, ширина пролаза и саобраћајница ,
- начин транспорта (континуални или дисконтинуални),
- загађеност појединих погона, разни прописи, итд.

4.1. Формирање просторне структуре

При разматрању проблема размештаја производног и помоћног простора, опреме и радних места, уочава се да постоји велики број алтернатива које могу да се реализују. Проблем се састоји у томе да се из скупа могућих решења изабере оно, које најбоље испуњава техничке и економске услове дате пројектним задатком.

У основи могу да се разликују два начина избора просторне структуре неког система:

- према интуицији, и
- према формалним правилима решавања.

У првом случају критеријуми меродавни за избор решења се добијају размишљањем једне или више особа које учествују у процесу одлучивања. Формирају се поједина решења и при томе се користе скице, модели (исечени од хартије или просторни - макете), цртежи или програми за рачунар. Алтернативе се разматрају и оцењују међусобно према изабраним критеријумима и на тај начин се долази до решења. Овакав поступак избора решења је једноставан, непосредан и омогућује релативно брзо доношење одлуке. Решење зависи од комплексности проблема, квалитета и искуства учесника у одлучивању и може да се примени углавном у једноставним ситуацијама.

У другом случају се користе разни модели који описују проблем размештаја помоћу различитих дијаграма, карти токова материјала, матрица зависности појединих локација или рачунских поступака, који су најчешће компјутеризовани. Такви модели постоје у литератури, тако да се поставља проблем њиховог избора и примене, што зависи од низа фактора који су значајни за одлучивање.

При избору поступка за размештај опреме и анализи појединих алтернатива, треба обратити пажњу на следеће:

4. Размештај опреме и простора

- поступак размештаја треба да омогући селекцију појединих типова решења,
- трошкови поступка (и избора одговарајућег решења) морају да буду у релацији са коштањем изабраног решења, и
- потребно је назначити могуће субјективне утицаје да би се показало како утичу на коначан избор решења.

Субјективни утицаји могу да наступе код следећих корака у поступку размештаја локација:

- избора критеријума,
- међусобне тежине појединих критеријума,
- одређивања вредности предложених решења у односу на критеријум, и
- класификације вредности за немерљиве величине.

Код решавања сваког проблема могу да буду различити број и врста критеријума, зависно од одговарајућих захтева и информација које стоје на располагању. При томе, само разматрање свих релативних критеријума омогућава одговарајући избор. Навешће се неки од критеријума који могу да се користе при формирању просторних структура:

- Технички критеријуми - интензитет тока материјала, дужина транспортног пута, транспортни учинак, време потребно за транспортовање итд.,
- Економски критеријуми - инвестициони трошкови, експлоатациони трошкови.
- Критеријуми условљени системом - услови рада, врста енергије, лични контакти.

У основи размештај опреме, односно уређење производног простора може да се изврши на два начина:

- Размештај производне опреме према врсти процеса. Машине и уређаји се групишу, према функцији коју обављају, у специјализована одељења. Локације ових одељења су одређене према датом критеријуму зависно од технолошког процеса.
- Размештај производне опреме према редоследу технолошких операција (груписање машина према редоследу послова). Опрема се поставља у линији, где је редослед извођења операција или радних места диктиран комадом који се израђује.

Искључиво постојање ма којег од ових распореда у оквиру једне фабрике је ретко у пракси. Највећи број решења представља комбинацију ових стратегија (нпр. флексибилна производња). Међутим, ма који начин размештаја да је

усвојен, постоје извесни критеријуми који одговарајуће решење треба да задовоље.

Поступак размештања појединих локација се изводи тако што се прво планира целокупан простор, односно почиње се са уређењем фабрике као целине, а потом се приступа формирању распореда опреме у оквиру сваке радионице, односно одељења. При томе основни прилаз поступку распоређивања опреме и простора може да се изведе на два начина и то:

- **квантитативни**, када међусобни однос појединих локација одређују ток технолошког процеса и количине материјала које се крећу кроз процес, и
- **квалитативни**, када се укључују у разматрање све активности које су значајне за одвијање датог процеса, као кретање запослених, лични контакт, бука, загађеност појединих процеса итд.; овај начин се користи када се транспортују мале количине, односно када проток материјала нема битан утицај на размештај појединих локација.

У даљем тексту ће се описати основни модели за квантитативни и квалитативни размештај локација.

4.2. Одређивање транспортног учинка

Како је већ раније поменуто распоред локација опреме и простора одређује низ чинилаца међу којима су најзначајнији ток технолошког процеса и количине материјала које се крећу кроз дати процес. Већина метода које за изналагање решења користе квантитативне показатеље као основни циљ постављају остваривање најмањег транспортног учинка при кретању материјала кроз процес. За једну обликовану просторну структуру, дефинисану квадратном матрицом дужине путева ($L = |l_{ij}|$), транспортни учинак је дефинисан изразом:

$$|\min|F = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n q_{ij} l_{ij}, \quad i, j = 1, 2, 3, \dots, n$$

где је:

F - укупни транспортни учинак (tm),

q_{ij} - количина материјала (t, m^3, N_{TJ}), која се креће од i -те до j -те локације,

l_{ij} - дужина транспортног пута између i -те и j -те локације.

Транспортни учинак може да се изрази и преко броја циклуса (N) које обави транспортни уређај (нпр. виљушкар):

4. Размештај опреме и простора

$$F = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n N_{ij} l_{ij}$$

где је:

N_{ij} - број циклуса који се обави између i -те и j -те локације.

Пошто је минимизирање транспортних трошкова веома значајан економски критеријум код формирања и изградње просторне структуре једног производног објекта, функција циља може да буде дата изразом:

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

где је:

T - укупни трошкови транспорта (дин),

c_{ij} - величина јединичних трошкова транспорта од i -те до j -те локације (по дужном метру пута).

Значајан елемент у формулисању аналитичког модела за размештај опреме и простора представља одређивање растојања између појединих локација. При томе треба напоменути, да је у реалним ситуацијама често погодно да се функције F или T разматрају као функције растојања (d). Растојање (d) између појединих локација може да се дефинише на два начина, као:

- праволинијско растојање између две тачке - Еуклидово (најчешће се користи код конвејерског или пнеуматског транспорта), дато је изразом:

$$d(P_1, P_2) = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}$$

где су (x_1, y_1) и (x_2, y_2) координате тачака P_1 и P_2 у правоугаоном координатном систему, и

- угаоно праволинијско (ректангуларно) растојање између тачака:

$$d(P_1, P_2) = (x_2 - x_1) + (y_2 - y_1)$$

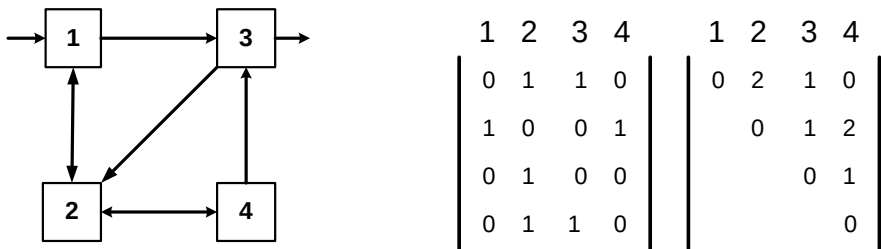
где (x) и (y) имају исто значење као и раније.

Ректангуларно растојање је од посебног значја при анализи локација производних система, где могућа растојања често нису праволинијска.

4.3. Матрица ОД - ДО

Код квантитативног приступа размештању локација радних места, опреме или простора често се користи матрица од - до, која омогућује да се прикаже кретање материјала, између појединих фаза производње. Количина материјала који се креће између појединих локација може да се изрази бројем комада, масом (t, kg), бројем транспортних јединица (N_{TJ}) или бројем транспортних циклуса (N_C).

Матрица од - до може да се користи и за приказивање технолошке повезаности појединих локација, при чему може да буде оријентисана, тј. да узима у обзир смерове кретања и неоријентисана када су приказане само везе између појединих локација. На слици 4-2 је дат пример структурне шеме четири машине са одговарајућом оријентисаном и неоријентисаном матрицом веза. Приказана неоријентисана матрица приказује јачину појединих веза зависно од оријентације кретања (једносмерна веза је означена са 1, а двосмерна са 2).



Слика 4-2.

Неоријентисана матрица може да прикаже и само постојање неке везе између локација без обзира на јачину те везе и у том случају добија облик:

	1	2	3	4
1	0	1	1	0
2		0	1	1
3			0	1
4				0

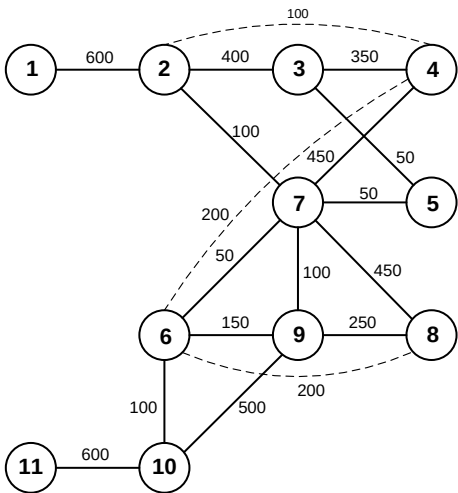
Пример. У датом примеру анализира се транспорт између 11 производних одељења. Бројеви одељења се уносе у матрицу од - до како је приказана на слици 4-3. Број транспортних јединица које се крећу између појединих одељења се уносе у карту (на пр. од одељења 4 до 6 се преноси 100 TJ и од 6 до 4, 100 TJ; укупно 200 транспортних јединица се креће између 4 и 6). На основу

4. Размештај опреме и простора

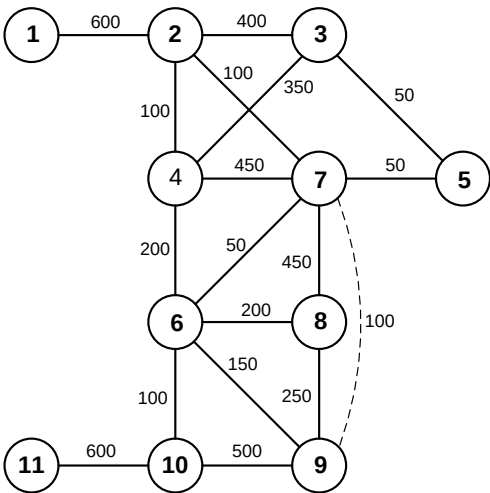
веза из матрице од - до се формирају дијаграми међузависности локација. Редослед поступка размештаја одељења је приказан на сликама 4-4, 4-5 и 4.6.

до од	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1		600									
2			400	100			100				
3				350	50						
4						100	450				
5							50				
6				100					150	100	
7						50		450	100		
8						200			250		
9										500	
10											600
11											

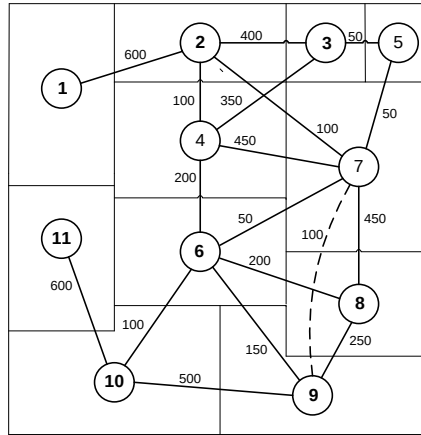
Слика 4-3. Матрица од - до



Слика 4-4. Размештаја одељења 1



Слика 4-5. Размештај одељења 2



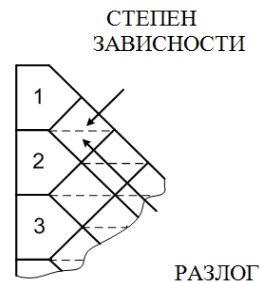
Слика 4-6. Поступак размештаја одељења

4.4. Матрица међазависности активности

Поступак размештаја радних места, опреме или простора коришћењем матрице међузависности активности (Rel-chart) развио је R. Muther /1961/. Односи између појединих функционалних целина, простора или машина могу да се прикажу помоћу једне троугласте матрице у којој су дефинисане зависности између сваке поједине активности и осталих активности (слика 4-7): Свако поље у коме је назначена јачина везе две активности је подељено хоризонталном тачкастом линијом. Горњи део поља се употребљава за уношење јачине појединих веза, а доњи за уписивање броја који указује на разлог за одређивање дате зависности.

	СТЕПЕН ЗАВИСНОСТИ	Бр. веза
A	АПСОЛУТНО НЕОПХОДНО	
E	ВЕОМА ВАЖНО	
I	ВАЖНО	
O	ПОТРЕБНО	
U	НЕВАЖНО	
X	НЕПОЖЕЉНО	
XX	ВЕОМА НЕПОЖЕЉНО	
	УКУПНО $N(N-1)/2$	

	РАЗЛОГ
1	БУКА
2	ВИБРАЦИЈЕ
3	ПРАШИНА
4	ИТД.



Слика 4-7. Зависност између активности. Степен зависности појединих веза је дефинисан следећим ознакама: А - апсолутно неопходно; Е - веома важно; I - важно; О - потребно; U - неважно; X - непожељно и XX - веома непожељно.

4. Размештај опреме и простора

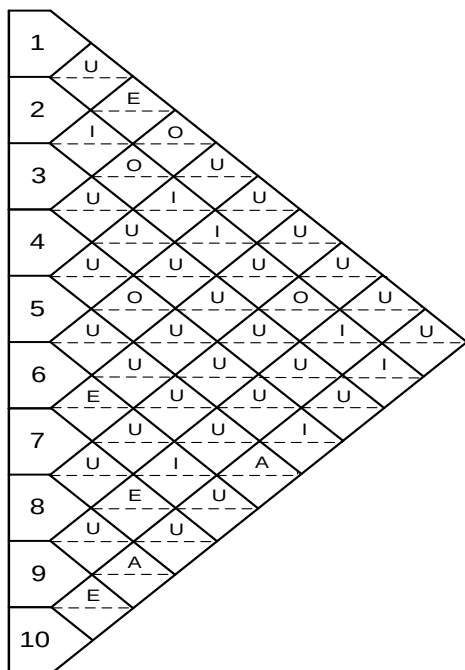
Примена овог поступка ће се објаснити кроз један пример размештаја простора.

- Формира се карта међузависности активности према квалитету веза између појединих одељења (слика 4-8). Одељења су означена бројевима од 1 до 10.
- Дијаграм међузависности појединих одељења (дијаграм просторних веза - слика 4-9) се формира на основу матрице међузависности активности. Одељења су означена бројевима исто као и у карти међузависности, а у заградама су назначене површине одељења у квадратним метрима. Квалитет појединих веза је означен бројем линија. Веза квалитета А има интензитет 4 и означава се са четири црте (Е - 3, I - 2, О - 1, U - 0, X - минус један, XX - минус два (до 10), ова веза, када се користи може да се означи непрекиданом линијом и означава непожељну везу).

Поступак размештања одељења се изводи тако што се прво уноси у дијаграм одељење које има најјачи интензитет веза са свим осталим (у датом примеру одељење 10 има укупни интензитет веза 15), а потом се уносе остала одељења зависно од квалитета веза и њихове зависности са већ уцртаним одељењима. Овај дијаграм даје идеализовани размештај одељења.

- На основу дијаграма просторних веза, према стварним потребама, формира се коначни распоред одељења (слика 4-10).

У процесу пројектовања производних погона најчешће није могуће раздвојити квалитативне утицаје од квантитативних, тако да је потребно формирати заједничку матрицу међузависности и на основу ње формирати одговарајућу просторну структуру. Основни модел R. Muthera за формирање просторне структуре овде је модификован код процеса формирања заједничке матрице међузависности. Наведени поступак може да се користи за размештање опреме и производног простора.



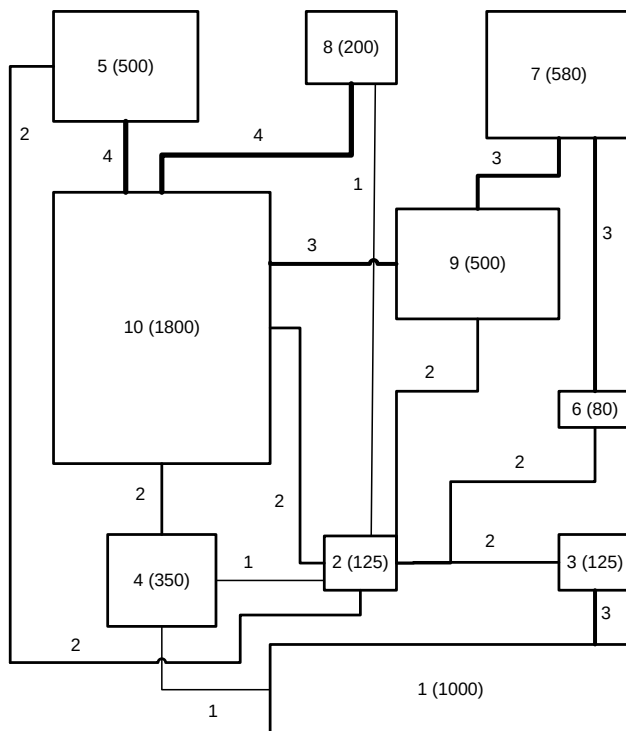
Слика 4-8. Карта међузависности активности

Поступак формирања заједничке матрице ће се објаснити на једном примеру:

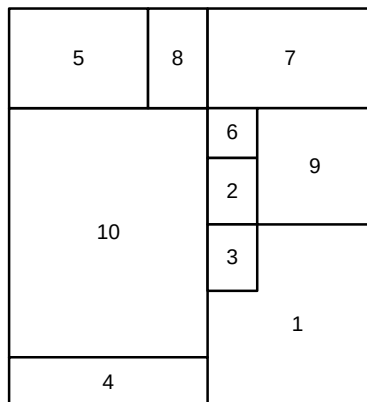
- Формирају се одговарајуће матрице од - до и међузависности активности како је раније објашњено. Ранг појединих веза у матрици од - до треба да се одреди на исти начин као и код матрице међузависности активности. За дати пример може да се усвоји за поједине квантитативне везе:

101 - 150	A = 4
71 - 100	E = 3
41 - 70	I = 2
21 - 40	O = 1
0 - 20	U = 0
непожељна веза	X = -2
веома непожељна веза	XX = -10

4. Размештај опреме и простора



Слика 4-9. Дијаграм просторних веза



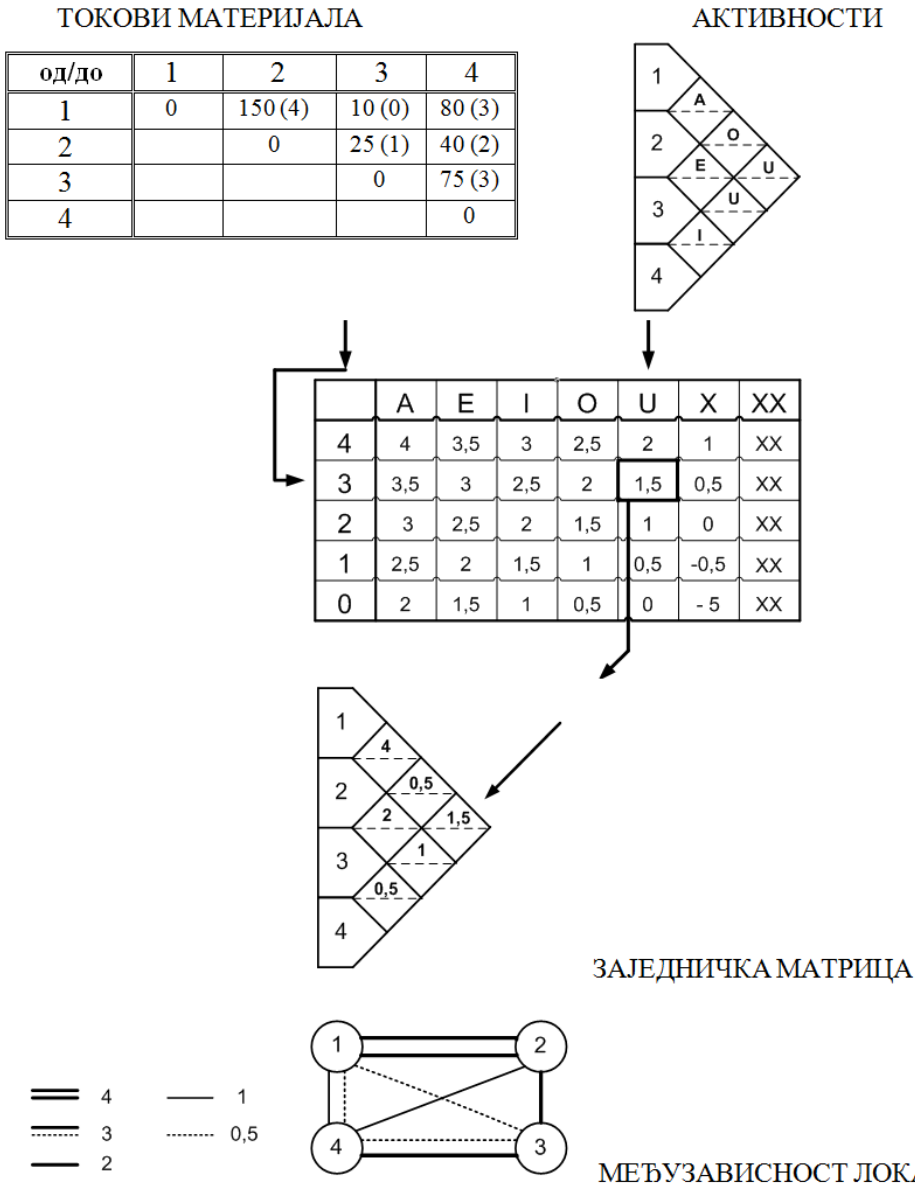
Слика 4-10. Коначни распоред одељења

- Формирање вредности чланова заједничке матрице се изводи табеларно и приказано је на слици 4-11. Уколико се сматра да је подједнак утицај квантитативних и квалитативних фактора онда је заједничка вредност везе локација 1 и 4: $0,5 \times 3 + 0,5 \times 0 = 1,5$ (заокружена вредност у табелици). Утицај протока материјала може да буде и већи (или мањи) у односу на квалитативне утицаје, на пр. $80 : 20$, па је вредност везе локације 1 и 4: $0,8 \times 3 + 0,2 \times 0 = 2,4$ (у датом случају се формира нова

4. Размештај опреме и простора

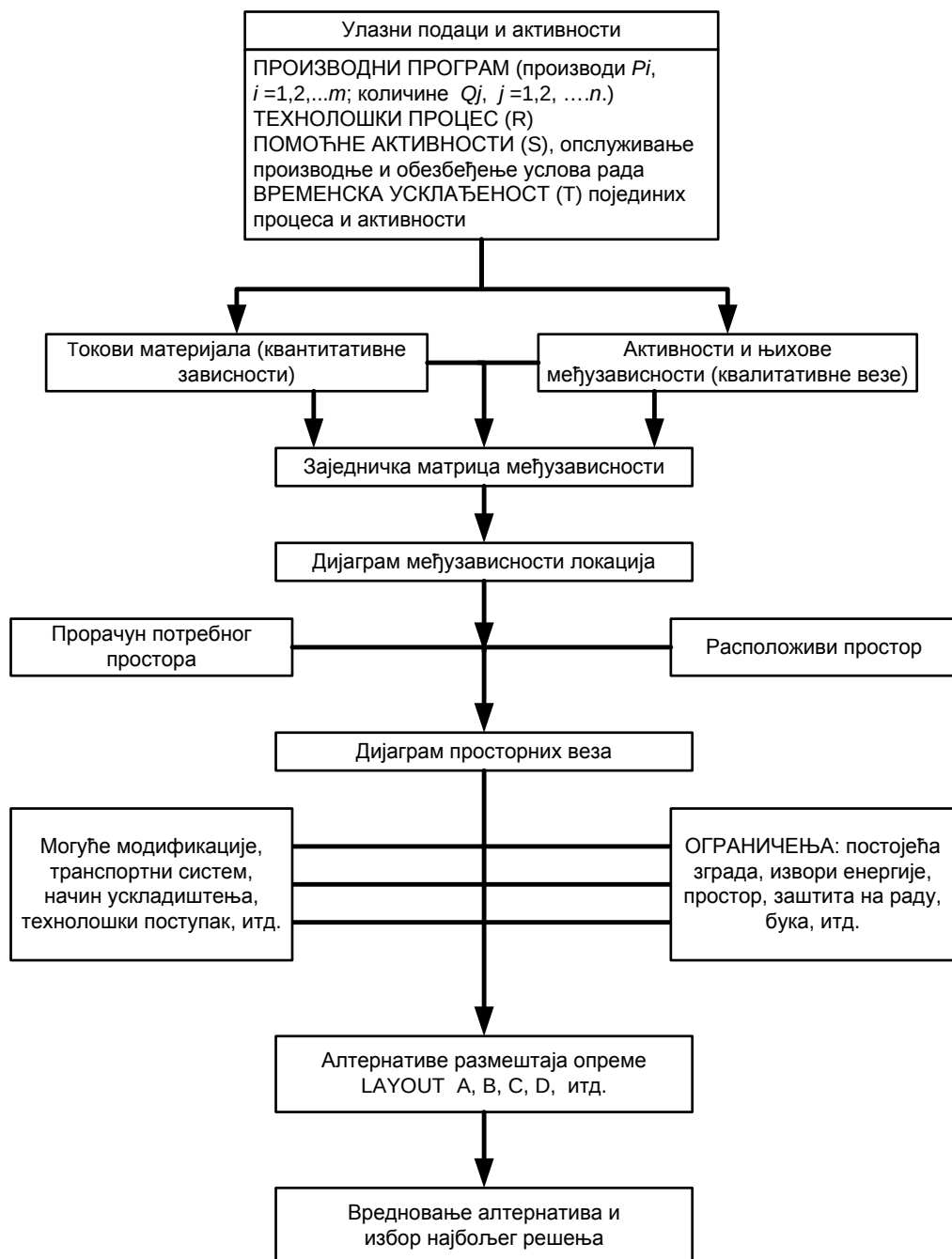
прелазна матрица). Даљи поступак формирања просторне структуре је исти као и у претходном случају.

Потребно је напоменути, да код решавања проблема у пракси квантитативни утицаји могу да буду различити за сваки пар локација, што треба узети у обзир при формирању прелазне матрице. Општи модел за размештај опреме и простора дат је на слици 4-12.



Слика 4-11. Формирање вредности чланова заједничке матрице

4. Размештај опреме и простора



Слика 4-12. Општи модел за размештај опреме и простора

4.5. Метода троугла

Ова метода је названа по томе што је распоред локација одређен положајем темених тачака једнакостраничних троуглова задате странице (S). Распоред машина или простора се изводи на основу ранга сваке локације, при чему је тај ранг одређен бројем транспортних веза између локација или интензитетом тих веза.

У случају када је потребно разместити три локације, оне се постављају у темене тачке једнакостраничног троугла. За постављање четврте локације постоји више могућности (слика 4-13), при чему положај четврте локације зависи од интензитета везе са остале три локације. Овај поступак не узима у обзир површину дате локације па се после идеализованог распореда просторна структура мора да коригује у складу са стварно потребним простором за сваку поједину локацију.

Функција циља је дата изразом:

$$|\min|F = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m q_{ij} l_{ij}, \quad i, j = 1, 2, \dots, m$$

где је:

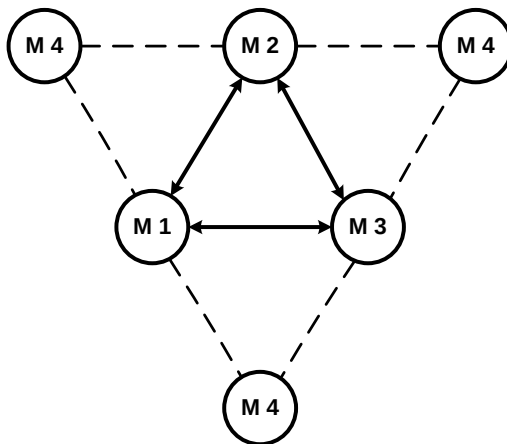
q_{ij} - интензитет транспортног тока између i -те и j -те машине,

l_{ij} - растојање између i -те и j -те локације

При томе се јавља ограничење да је:

$$l_{ij} = K \cdot S, \quad i, j = 1, 2, \dots, m; \quad K = 1, 2, 3, \dots, m$$

где је (S) величина странице једнакостраничног троугла.



Слика 4-13.

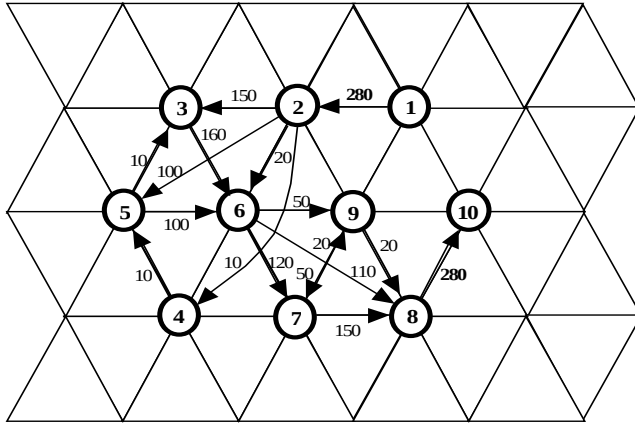
4. Размештај опреме и простора

Примена методе троугла ће се објаснити на примеру размештања 10 локација Поступак се одвија према следећим фазама:

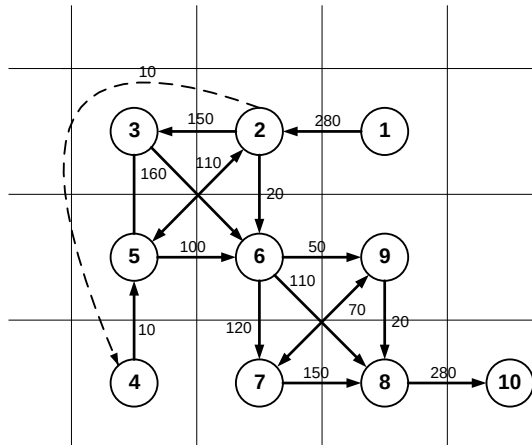
- Формира се матрица интезитета веза (од - до) на основу задатих кретања између локација (слика 4-14).
- На основу матрице од - до одређује се ранг интезитета веза између појединих локација.
- Локације се размештају на троугластој мрежи и то тако да се прво поставља локација са највећим бројем веза, односно прва по рангу, а око ње се на осталим чворним тачкама мреже постављају остале локације како следе према броју веза, односно рангу. На слици 4-15 дат је распоред локација за дати пример.
- Размештај локација може да се изврши и коришћењем квадратног растера. Решење наведеног примера је дато на слици 4-16.

до од	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	$\sum_{j=1}^{10} q_{i,j}$
1	0	280									280
2		0	150	10	100	20					280
3			0			160					160
4				0	10						10
5		10			0	100					110
6						0	120	110	50		280
7							0	150	20		170
8								0		280	280
9							50	20	0		70
10										0	0
$\sum_{i=1}^{10} q_{i,j}$	0	280	150	10	110	280	170	280	70	280	
$\sum_{i=1}^{10} \sum_{j=1}^{10} q_{i,j}$	280	560	320	20	220	560	340	560	140	280	
РАНГ	6 - 7	2	5	10	8	1	4	3	9	6 - 7	

Слика 4-14. Матрица интезитета веза између појединих локација



Слика 4-15. Распоред локација за дати пример



Слика 4-16. Размештај локација коришћењем квадратног растера

4.6. Метода кругова

Метода кругова је развијена на основу критичког разматрања методе троуглова. При томе се, као и у претходној методи, за критеријум размештаја опреме и радних места узима минимални транспортни учинак, односно минимум трошкова кретања:

$$\min F = \sum \sum q_{ij} l_{ij}$$

где је :

q_{ij} - интензитет транспортног тока, и

l_{ij} - растојање између i -те и j -те локације.

4. Размештај опреме и простора

Интензитет транспортног тока (q_{ij}) је задат матрицом транспортних веза, тако да се минимум функције циља добија у случају када су најкраћи путеви (l_{ij}). То значи, да растојања између локација треба да буду обрнуто пропорционална јачини интензитета транспортне везе између њих:

$$l_{ij} = 1/q_{ij}$$

односно да се i -та локација у односу на j -ту локацију може да постави ма где на кругу радијуса $R_{ij} = 1/q_{ij}$, описаним око i -те локације. Да би се добили полупречници кругова у жељеној размери потребно је израз R_{ij} помножити одговарајућим фактором размере (K): $R_{ij} = K/q_{ij}$ (mm).

Поступак методе кругова ће се објаснити на примеру размештаја 6 локација:

- Формира се неоријентисана матрица интензитета задатих транспортних токова (од - до).

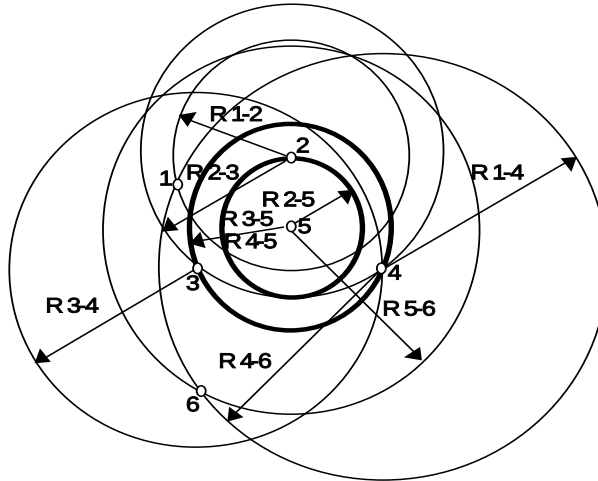
до од	1	2	3	4	5	6
1	0	80	0	42	0	0
2		0	60	0	130	30
3			0	50	90	40
4				0	90	40
5					0	50
6						0

- На основу претходне матрице формира се матрица полупречника кругова. Усваја се фактор размере $K = 2.000$ да би се добили полупречници у милиметрима.

до од	1	2	3	4	5	6
1	0	25	0	47,6	0	0
2		0	33,3	0	15,4	66,6
3			0	40	22,2	50
4				0	22,2	50
5					0	40
6						0

- Из матрице полупречника кругова налази се најмања вредност $R_{2,5} = 15,4$ mm, тако да се на цртежу прво уносе локације 2 и 5 (слика 4-17). У следећој фази се уцртава радијус $R_{3,5} = R_{4,5} = 22,2$ mm. Пошто се локације 3 и 4 налазе на овом полупречнику испитује се веза са локацијом 2 ($R_{2,3} = 33,3$ mm, одређује локацију 3). Локација 2 није везана са локацијом 4, тако да се уцртава радијус $R_{3,4} = 40$ mm којим се

одређује положај локације 4. Поступак се наставља испитујући везе осталих са локацијама 2, 3, 4 и 5.



Слика 4-17.

У случају да је нека локација везана са више од две друге локације њени радијуси, односно одговарајући кругови могу да се не секу па се поставља тамо где се кругови највише приближавају. Добијени коначни распоред локација потребно је кориговати узимајући у обзир потребне површине сваке од локација.

4.7. Програми за размештај опреме

Код проблема са мањим бројем елемената коришћење постојећих поступака /R. Muther 1961 и др./ још увек доводи до задовољавајућих решења. Савремене тенденције истраживања у пројектовању размештаја опреме и простора су усмерене на развој рачунарских програма, да би се помогло пројектантима у стварању алтернативних решења. Тако да се рачунар користи као помоћни алат, аналитичару који ради на размештају опреме.

Програми за размештај опреме и простора знатно скраћују фазу истраживања у процесу пројектовања, што доводи до смањења потребног инжењерског времена за изналажење одговарајућих решења /Bazaraa 1975/. Употребљавајући алгоритме за компјутеризовани размештај (layout), пројектант може брзо да произведе (створи), већи број алтернативних решења за одређени проблем.

4. Размештај опреме и простора

Коришћење рачунара за размештај локација почиње шездесетих година. **CRAFT** је створен 1963. године, а **ALDEP** и **CORELAP** 1967. године; касније се развијају и други програми (**PLANET**, **LSP**, **LAYOPT**, **GOFAD**, итд.), а такође долази и до модификације постојећих програма. Најчешће, ови програми дају блок распоред појединих локација, а не детаљно решење погона, тако да могу да се користе само у почетној фази пројектовања.

Разматрања дата у овом поглављу се првенствено односе на размештај опреме према врсти процеса, или размештају производног простора. Алгоритми за компјутеризовани размештај могу да се класификују према начину на који се ствара финално решење у две основне категорије:

- **Конструктивни алгоритми.** Базирају се на квалитативној процени неопходности близине различитих објеката (**CORELAP** и **ALDEP**).
- **Алгоритми за побољшање.** Полази се од постојећег решења постројења и тражи се један побољшани размештај мењајући положаје појединих објеката. Побољшање се базира на смањењу тока материјала или трошкова транспорта (**CRAFT**).

Већина расположивих прилаза проблему пројектовања размештаја опреме и одељења односи се на обим и редослед кретања. Користе се различите карте или матрице да се прикупе и организују потребни подаци. Подаци се анализирају са гледишта минимизирања тока материјала. Све ове методе су донеле различите степене побољшања у односу на традиционални приступ решавању проблема. Међутим, када је број елемената које треба разместити велики, ове методе не могу да се примене или се захтева велико инжењерско време за добијање релативно малог броја повољних алтернатива.

Према комбинаторној природи проблема размештаја опреме и одељења, није лако доћи до аналитичког решења. Такође, комплетно набрајање могућих локација за постављање опреме, изузимајући веома мале проблеме, не може да се разматра методом решавања која је рачунски изводљива. Зато је развијена једна друга техника, која захтева умерено рачунање, а то су хеуристички модели. Ови алгоритми се компјутеризују.

CORELAP (Computerized Relationship Layout Planning)

Као основа поступка који се користи у овом програму узет је рад **Systematic Layout Planning - SLP** /Muther 1961/. Може да генерише layout само за једносратне зграде. Овај програм захтева следеће улазне податке /Moog, Lindquist 1967/:

- потребан број одељења,

- дефинисање односа између одељења (карта међузависности активности),
- потребне површине одељења, и
- највећи однос дужине према ширини зграде.

Општа логика која се користи у **CORELAP**-у је хеуристичка. На бази укупне међузависности одељења (**Total Closeness Rating - TCR**), која се рачуна на почетку програма и матрице међузависности која је садржана у улазним подацима, **CORELAP** почиње селекцијом и лоцирањем елемената са највећим **TCR** и поставља га у центар претходно одређене матрице основе. Даље, алгоритам систематично доводи до решења додајући једно по једно одељење на бази њихове жељене међузависности. Излаз се састоји од матрице која даје размештај блокова.

ALDEP (Automated Layout Design Program) /1969/

Развијен је у **IBM**-у и има хеуристички алгоритам сличан **CORELAP**-у. Програм користи као улазни податак карту међузависности и примењује се код производних и непроизводних погона. Захтева основу зграде као део улазних података и зато није увек погодан за пројектовање нових погона. Локација појединих одељења може да буде специфицирана на улазу, на пр. пријемна рампа. **ALDEP** може да развије основу у три равни (три спрата).

Квантитативни и квалитативни утицаји који су основни елементи за размештај опреме уносе се интерактивно, а сам програм формира одговарајуће матрице веза. Матрицу од - до квантитативних утицаја и матрицу међузависности квалитативних утицаја. Процењени однос квантитативних и квалитативних утицаја се задаје у процентима и формира се заједничка матрица међузависности. Овако добијена матрица је основа за размештај опреме и простора и за оцену вредности добијеног layout-a. Аналитичар има могућност да променом односа интензитета квантитативних и квалитативних веза измени њихов утицај на добијено решење.

Степен зависности веза између одељења у заједничкој матрици приказан је словним ознакама од А (најјачи утицај), преко Е, I, О, U до Х (неповољно) и ХХ (веома неповољно). Ове ознаке се трансформишу у бројне вредности степена везе који је основа за вредновање сваког алтернативног layout-a. Степен везе може опционо да се задаје према захтевима пројектанта.

CORELAP и **ALDEP** се углавном употребљавају када се разматрају међуодноси активности и када услови онемогућавају скупљање тачних нумеричких података.

CRAFT и усавршени програм SPACE CRAFT

Armour и Buffa /1963/ дали су програм за реконструкцију погона, са радионичком производњом, који употребљава однос транспортних токова као меру ефикасности решења. Овај модел је способан да решава проблеме који садрже до 40 елемената које треба распоредити. Програм се примењује када је планирање размештаја ограничено искључиво на производна одељења и када је у проблему доминантан ток материјала. Пошто се постојећа зграда укључује у улазне податке програм не одговара за пројектовање нових погона где план зграде треба да је дефинисан самим размештајем. Користи се код једносратних зграда. Ради са фиксним системом унутрашњег транспорта. Иницијални транспортни систем остаје непромењен упркос променама растојања између локација. Програм само мења локације одељења да би се минимизирали укупни транспортни трошкови.

Пошто су израчунати укупни трошкови транспорта за један иницијални распоред, алгоритам испитује све могуће потенцијалне уштеде мењајући локације одељења. Израчунавају се укупни трошкови транспорта за свако ново стање и исти кораци се понављају све док се не оконча редуцирање вредности предметне функције.

COFAD /1975/

За разлику од **CRAFT**-а, **COFAD** поред тражења најповољнијих локација елемената мења и сам транспортни систем. Програм користи следеће улазне податке, да створи повољан распоред производног простора и опреме и изврши избор уређаја унутрашњег транспорта који ће имати минималне експлоатационе трошкове:

- Усвојени почетни распоред опреме са описом одељења и назначеним ограничењима за поједине локације.
- Листу могућих типова транспортних уређаја за свако кретање између одељења.
- Матрицу кретања између свих одељења са приказаним обимом појединих токова.
- Метод за процену трошкова код појединих алтернатива транспортних система.

COFAD хеуристички тражи приближно оптимално решење мењајући локације појединих одељења и при томе разматра транспортне трошкове. Када транспортни трошкови више не могу да се смањују, поступак се понавља за нови систем унутрашњег транспорта све док се не достигне повољно решење.

Израз из рачунара даје приближно оптимални размештај, избор опреме за извођење сваког кретања, трошкове за свако кретање између појединих локација, укупне захтеве у опреми за целокупан транспортни систем и укупне трошкове унутрањег транспорта. Рачунар штампа као решење layout у размери са назнаком одговарајућег транспортног система. Даје упоређење смањења трошкова транспорта у односу на претходна решења.

COSFAD

Досадашњи приступ у пројектовању производних постројења бави се првенствено анализом квантитативних показатеља и остваривањем жељене близине појединих локација при размештају опреме и производног простора. Утицај сигурности се најчешће разматрао после формирања layout-a. Према подацима National Safety Council - Chicago, индустријске несреће и повреде на раду коштају САД 11,5 билиона долара годишње. Огромни трошкови форсирали су рад на решавању овог проблема, тако да је између многих истраживања настао и програм **COSFAD** - **C**omputerized **S**afety and **F**acility **D**esign, где се заједнички разматрају фактори сигурности са размештајем опреме /Tomkins 1976/.

Предмет **COSFAD**-а је да реши систем са минималним трошковима за манипулацију материјалом (размештај опреме и простора), који има минимални ризик сигурности целог система. Користи резултате W. Finea /1971/ који је квантификовао сигурност, дефинишући метод процене опасности присутне у различитим ситуацијама.

HiCraft Ver 1.

Програм за размештај опреме и простора **HiCraft** /Зрнић, Тасовац 1992/ развијен је на Катедри за Механизацију Машинског факултета у Београду. Програм је настао побољшањем постојећег програма **CRAFT** и базиран је на хеуристичком принципу /Floyd 1962/. Алгоритам програма **HiCraft** узима у обзир, при оптимизацији просторног распореда опреме или простора, величине површина опреме или простора па се просторни захтеви дају у виду почетног layout-a. Максималан број локација на које је могуће вршити распоређивање просторних јединица је 80. Поред ових улазних података потребно је дефинисати и транспортне путеве. Транспортне саобраћајнице се дефинишу преко чворова. Максимални број чворова је 80, што значи да је могуће дефинисати 12.640 сегмената (из сваког чвора 4 сегмента максимално) транспортних саобраћајница. У оквиру програма постоји едитор посебно развијен да олакша уношење улазних података. Замена локација појединих просторних јединица је могућа на основу два критеријума:

4. Размештај опреме и простора

- **А.** Једнакости површина просторних јединица: а) уз одржање основног облика просторних јединица, или б) уз деформисање основног облика просторних јединица.
- **Б.** Суседства.

Такође је могуће фиксирати одређену просторну јединицу за дату локацију тако да она не буде кандидат за замену места.

По првом критеријуму места могу заменити само просторне јединице истих површина. По критеријуму **А-а** могућа је замена само просторних јединица истих облика. Нпр. просторне јединице 4 x 5 и 2 x 10 имају исте површине али различите облике. То значи да се замена места просторних јединица изводи само ако су облици просторних јединица на две локације истоветни. Ово ограничење је веома ригорозно и утиче на доброту решења. Примена критеријума **А-а** је погодна када се размештају средства за производњу.

Критеријум **А-б** омогућује промену облика просторних јединица, при промени локације две просторне јединице. То значи да ће просторне јединице међусобно заменити облике. Замена места просторних јединица по другом критеријуму, (критеријуму суседства) подразумева да просторне јединице кандидати за замену буду једна до друге унутар растојања које корисник програма дефинише као суседство, да су им налегле странице једнаке и да су им центри на истим висинама.

Поред наведеног, програм **HiCraft** има могућност да сведе димензије и облике просторних јединица на "јединичну просторну јединицу" односно да све просторне јединице учини једнаким по облику и димензијама са најмањом присутном просторном јединицом на layout-у и да са тако припремљеним просторним јединицама изводи оптимизацију. Решење добијено од овако формираног полазног layout-а је најбоље, зато што је једина препрека за замену места просторних јединица фиксирана просторна јединица.

За разлику од **CRAFT**-а где просторне јединице могу да добију произвољан геометријски облик, у **HiCraft**-у просторне јединице могу да имају само неки од присутних облика просторних јединица или да га потпуно очувају. Највећа предност програма **HiCraft**, у односу на **CRAFT**, је да растојања између просторних јединица не морају да се рачунају као најкраћа растојања између тежишта или центара просторних јединица по ректангуларном или Еуклидовом правилу. Транспортна растојања између просторних јединица програм **HiCraft** може да израчунава строго пратећи означене транспортне саобраћајнице. Овом могућношћу се оптимизациони модел у великој мери приближава реалним условима. Програм је, такође, оспособљен да пратећи саобраћајнице одреди најкраће растојање између било којег пара просторних јединица на layout-у и да

прикаже преко којих чворова и сегмената иде најкраћи транспортни пут. Основне разлике између програма **CRAFT** i **HiCraft** су:

- капацитет **CRAFT**-а је 40 просторних јединица, а **HiCraft**-а 80 просторних јединица.
- **CRAFT** трансформише просторне јединице у произвољне геометријске облике, а **HiCraft** не мења облик просторних јединица.
- **CRAFT** може да замењује места три просторне јединице одједном преко суседне просторне јединице.
- **HiCraft** ради са променљивим суседством, са или без транспортних саобраћајница и са или без јединичних просторних јединица.

На слици 4-18 приказан је почетни layout и начин одређивања најкраћег растојања између просторне јединице 5 и просторне јединице 13. На слици 4-19 приказан је крајњи layout.

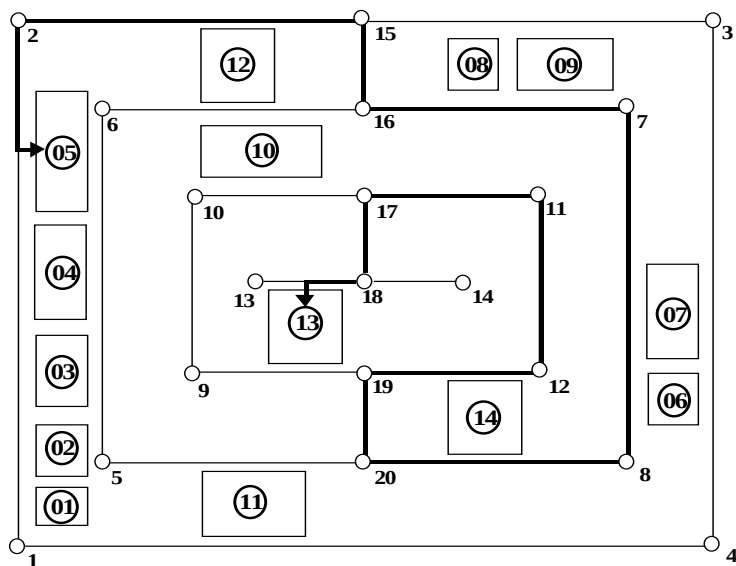
4.8. Предности и недостаци програма

Основне предности и недостаци примене програма за размештај опреме и простора су да помогну у процесу стварања бројних комбинација размештаја елемената и да генеришу бројне алтернативе layout-а. Пројектант може да створи толико много диспозиција, колико жели, у кратком периоду времена и при томе се решења лако вреднују. То значи, да програми побољшавају фазу истраживања на почетку разраде једног пројекта и знатно смањују инжењерско време неопходно за добијање задовољавајућег решења. Применом програма за израду диспозиција, аналитичар има могућности да добије знатно боље решење него ма на који други начин.

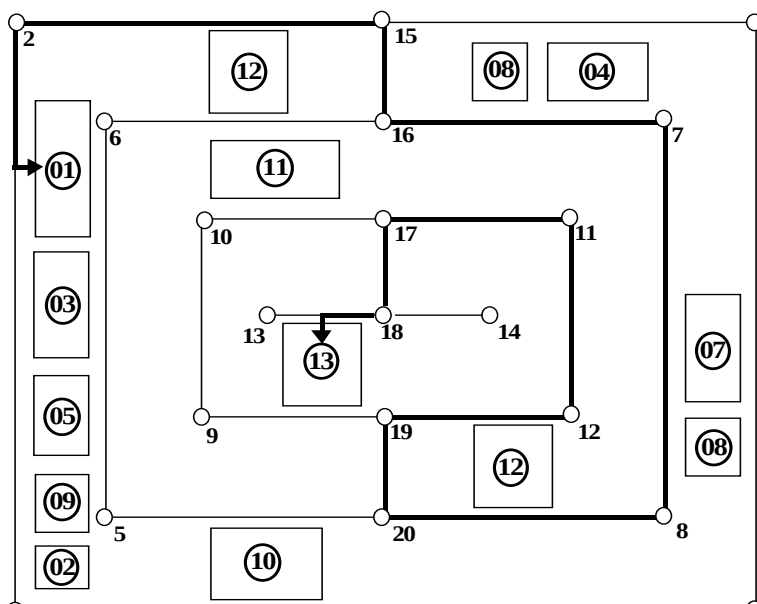
Програми за размештај се углавном користе у производњи када је подела на одељења извршена према врсти процеса и у флексибилној производњи, односно тамо где је присутан велики број података које треба узети у разматрање.

Програми не пружају увек оптимална решења за ма који дати проблем, и зато је важно да улазни и излазни подаци буду погодни за даљу анализу. Најбоље генерисано решење не мора да буде увек и оптимално. Нпр. решење са минималним трошковима унутрашњег транспорта не може да буде прихваћено због буке, вибрација, или сличних утицаја који захтевају посебна разматрања. Међутим, финални layout је врло сличан добром решењу и резултат је процене многих layout-а. Финална диспозиција која резултује из програма мора да се провери да ли је практична, односно потребно је испитати могућност њене примене. Нпр. облик одељења треба да омогући укључивање ходника, постављање помоћних одељења, лифтова, степеништа и санитарних чворова.

4. Размештај опреме и простора



Слика 4-18. Почетни layout и начин одређивања најкраћег растојања између јединица 5 и 13



Слика 4-19. Крајњи layout

5. КРЕТАЊЕ МАТЕРИЈАЛА

У прошлости се недовољно пажње поклањало транспорту материјала кроз процес, већ су се пројектантски потенцијали усмеравали на тражење оптималних решења технолошких поступака и развијању производне опреме. Такође, непланирана експанзија је оптеретила многе фабрике са неподесним layout-има, нелогичним редоследом процеса и претераним захтевима за транспортом материјала, чији се стварни трошкови нису могли увек да процене. Чак и сада упркос искуствима из прошлости транспортни захтеви се често посматрају као споредни послови који се могу решити импровизацијом, или, ако се узму у разматрање мало озбиљније, третирају се као изолован проблем који ће се решавати на парче "ad hoc" усвајањем опреме. При оваквом прилазу се занемарују чињенице да ако су највеће уштеде у новцу, времену, радној снази, простору и утрошку енергије ефектне у сваком степену од истовара полуфабриката, односно сировог материјала до отпреме готових производа, сваки корак се не може, разматрати изоловано, већ као део (подсистем) целокупног система кретања и процеса производње.

Транспортни систем је интегрални део производње, а за аналитичку студију и цеулокупно планирање и пројектовање фабрике заслужује ништа мање пажње него што се поклања операцијама процеса, које у индустрији ретко садрже више од 10 % укупног времена циклуса производње. Поред тога трошкови транспорта материјала износе од 10 % до 80 % од производних трошкова у разним гранама привреде. Значајан искуствени показатељ представља и процентуално учешће радне снаге на пословима транспорта и манипулације. Овај показатељ варира у широким границама, тако да у различитим погонима металопрерађиваке индустрије се креће од 5 - 35 %.

Значај кретања материјала још више се потенцира када се узме у обзир изгубљено време производних радника (високе квалификационе структуре) на манипулацији и транспорту радних предмета у току рада (до 15 %). Ово утиче

5. Кретање материјала

и на недовољно временско искоришћење машина, што проузрокује додатне трошкове и повећава обим недовршене производње.

Евидентно је да трошкови транспорта материјала кроз процес знатно оптерећују цену производа, и зато их је потребно идентификовати. Ове трошкове је могуће поделити у две категорије на директне и индиректне. Директни трошкови се деле на сталне и променљиве. Стални трошкови обухватају амортизацију, ануитете, и осигурање. Променљиви трошкови су: електрична енергија, погонско гориво, плате транспортних радника, одржавање, и режија.

Индиректне трошкове је тешко квантификовати, али их не треба игнорисати зато што могу да знатно утичу на ефекте пословања. Они обухватају трошкове: изгубљеног времена производних радника због неблагоприятне допреме материјала, недовољног временског искоришћења производне опреме због застоја у транспорту, недовршене производње, услед оштећења у транспорту, услед смањеног обима производње због лоше решеног layout-a, услед плаћања пенала због закашњења, простора који заузимају транспортна средства (комуналије, накнада за коришћење грађевинског земљишта, грејање, проветравање, осветљавање и одржавање објекта), штете настале услед нестручног руковања транспортним средствима, итд.

Један од значајних критеријума за одређивање ефикасности система кретања материјала је и време протока материјала кроз систем. При томе треба напоменути да је повећање брзине транспортовања ограничено избором и могућностима појединих транспортних уређаја, односно пројектованог подсистема транспорта и условима које диктира сам производни систем, тако да у појединим случајевима може да има и негативан ефекат. На брзину протока кроз систем може да се знатно утиче скраћењем транспортних путева (оптимални распоред локација), распоредом саобраћајница, смањењем времена чекања и бољом организацијом производње. Време протока материјала (дужина циклуса производње) је дата изразом:

$$T_{PM} = \sum t_o + \sum t_t + \sum t_w + \sum t_z$$

где је:

$\sum t_o$ - укупно време потребно за израду датог производа,

$\sum t_t$ - укупно време транспорта,

$\sum t_w$ - укупно време чекања на транспорт,

$\sum t_z$ - укупно време застоја условљено организацијом процеса.

Коефицијент протока је дат изразом:

$$p = \frac{T_{PM}}{\sum t_o}$$

На величину коефицијента протока (треба да тежи јединици) могуће је утицати минимизацијом циклуса транспортовања и времена чекања које зависи од усвојеног транспортног система и организације производње. Коефицијент протока (p) у металоррађивачкој индустрији се креће до 10.

5.1. Општи проблеми

Основни задатак транспортног система, је премештање терета, скупљање неколико транспортних токова у један и дељење једног тока на неколико, тј. остваривање везе места отпреме са местом допреме. Поред тога, транспортни систем остварује и везу по времену да би се регулисала брзина појединих токова.

Да би транспортни систем могао да функционише правилно потребно је испитати способност повезивања појединих транспортних средстава у току рада. Место где се терет предаје и прихвата, односно место везе између појединих транспортних средстава мора да се подреди условима транспортног задатка исто као и поједини транспортни уређаји датог система.

Користећи са одговарајућим моделом процеса, потребно је наћи такву структуру транспортног система да се задовоље услови постављени транспортним задатком. Модел транспортног система треба да карактерише реалне процесе дате преко расподеле временских параметара. При томе, модел треба да одржава реалност у великом степену и да предвиди понашање система. Дobar модел ће предсказати перформансе које добро корелирају са подацима из реалне ситуације. Пројектант мора да сагледа функционалну интеракцију између различитих компонената система (подсистема) и осетљивост ма које посебне концепције на варијације у форми или садржају таквих интеракција. Тражи се основно разумевање структуре и функционисања система који се студира.

Савремени прилаз пројектовању layout-а датог производног погона захтева интегрално разматрање процеса производње, унутрашњег транспорта и складиштења и овај проблем је посебно значајан код аутоматизације процеса ускладиштења или код примене флексибилних производних система. Интегрално решавање кретања материјала је неопходно и у "класичним" погонима и увек се у први план ставља разматрање заједничког дејства различитих транспортних средстава и усклађивање рада једног са другим може да учини, да различити елементи функционално и временски дејствују заједнички. Комбинација више истих или различитих транспортних средстава који раде заједно на испуњењу одређеног транспортног задатка представља транспортни систем.

5. Кретање материјала

Као пример интегралног система кретања материјала може да послужи увођење **високорегалног складишта (ВРС)** у радионички простор (в. слике 3-7, 3-33 и 3-34). Основна идеја за примену овог модела је могућност директног транспорта материјала од складишних локација до радних места. Предности оваквих решења су следеће:

- краћи транспортни путеви до складишта,
- мала количина материјала у процесу,
- ефикасно решење кретања материјала,
- могућност коришћења јединственог складишта за репро материјал, готове делове, готове производе и за међуфазна ускладиштења,
- повећана продуктивност по јединици површине зграде,
- краatak циклус производње, итд.

5.2. Основни принципи решавања проблема кретања материјала

Према дефиницији: *"Принципи представљају организовано знање, односно суштину акумулисаног знања без непотребних детаља, тако да је лакше разумевање масе чињеница и њихово значење може да се лакше прихвати"*. Принципи наведени у даљем тексту представљају адаптацију постојећих знања из литературе на основу вишегодишњег искуства из праксе:

- Све активности кретања материјала треба да буду претходно планиране (пројектоване).
- Пројектовање увек мора да обухвата цео систем кретања материјала (транспортни систем), а то значи планирање низа међусобно зависних транспортних задатака, а не решавање изолованих транспортних проблема. При томе је потребно сваку активност везану за кретање материјала размотрити као део целокупног транспортног система и планирати је као интегрални део датог система.
- Планирање редоследа операција и распореда опреме треба да омогући оптимизацију тока материјала.
- Методе и опрема који се користе треба да омогуће извођење различитих задатака, што доводи до бољег искоришћења опреме и лакшег прилагођавања честим променама захтева у индустрији (флексибилност система).
- Смањити или елиминисати сва непотребна кретања и/или опрему која се адекватно не користи.
- Омогућити максимално искоришћење простора.
- Када постоји могућност и када је оправдано треба користити јединичне терете (транспортне јединице - **ТЈ**). При томе треба водити рачуна о

општем принципу да су трошкови нижи када се транспортују јединице веће масе и габарита.

- Користити средства механизованог и аутоматизованог транспорта само када је то практично.
- При избору опреме потребно је разматрати све аспекте материјала, радних процеса и метода, могуће промене транспортног задатка (флексибилност), поузданост, стварни степен искоришћења итд.
- Обезбедити методе и опрему за сигурно извођење процеса. Један од основних циљева при пројектовању транспортног система је да се побољшају радни услови и обезбеди сигурност у раду. Посебно треба напоменути, да је велики проценат повреда на раду везан за активности кретања материјала.
- Потребно је извршити стандардизацију метода и процеса за транспорт материјала, као и типове транспортне и помоћне опреме (на пример стандардизација палета, контејнера, слагања паковања на палету, висине претоварне рампе, итд.).
- Планирати превентивно одржавање и направити мрежни план за оправку целокупне транспортне опреме.
- Користити гравитацију за кретање материјала увек када је то корисно.
- Потребно је смањити однос "мртвог терета" према корисном терету. Ово знатно утиче како на трошкове транспорта, тако и на уштеде у потрошњи енергије по јединици производа. Посебно треба напоменути утицај овог односа на брзину кретања, односно на време циклуса транспортних операција.
- Смањити време чекања на извођење операција како за материјал тако и за људе.
- Смањити време чекања опреме на извођење операција, односно потребно је повећати степен искоришћења опреме.
- Смањити време утовара и истовара.
- Потребно је заменити застареле методе и опрему увек када ће увођење нових процеса да побољша ефикасност у раду.
- Потребно је користити транспортну опрему (увек када је то рационално) за извођење других активности (извођење производних операција, контролу итд.).
- Ефикасност рада транспортног система се изражава кроз трошкове по јединици терета који се транспортује (din/t), (din/TJ), итд. При томе такође, треба напоменути да постоје случајеви када максимална економичност није главни циљ. У неким случајевима постављени транспортни уређаји могу да обезбеде већу продуктивност производног система, сигурност у раду или смањење физичке радне снаге, тако да могу да буду и други критеријуми за оцену рада транспортног система.

5. Кретање материјала

Наведени принципи покривају углавном целу област транспорта материјала и треба да послуже као основни водич за планирање и анализу транспортних процеса у индустрији. Један од најбољих начина за ефикасно коришћење наведених принципа је формирање листи за проверу, које треба да послуже у пракси за уочавање транспортних проблема при анализи система кретања материјала или у почетној фази пројектовања. У даљем тексту су дати примери листа за претходна испитивања /Maynard 1975/ у унутрашњем транспорту и складиштењу код анализе постојећих погона.

ЛИСТА ЗА ПРЕТХОДНА ИСПИТИВАЊА (УНУТРАШЊИ ТРАНСПОРТ И СКЛАДИШТА)

ПОКАЗАТЕЉ	ДА	НЕ	ПРИМЕДБА
ОПШТА ЗАПАЖАЊА			
Пренатрпаност - недовољан простор.....			
Неочекивани застоји.....			
Неискоришћени простор на поду.....			
Слабо одржавање реда, чистоће у погону.....			
Преоптерећеност привременим складиштењем.....			
Материјал се слаже директно на под.....			
МАТЕРИЈАЛ			
Својства материјала стварају проблеме у транспорту.....			
Количине оправдавају механизацију транспорта и руковања материјалом.....			
Превише или премало материјала се преноси ручно.....			
Оштећени материјал.....			
Прекомерни отпадак.....			
ПРЕНОШЕЊЕ МАТЕРИЈАЛА			
Особине објекта ограничавају преношење материјала.....			
Особине транспортних уређаја не одговарају.....			
Операције преношења изгледају сувише дуге.....			
Преношење се не врши директним правцем.....			
Технолошка шема отежава руковање материјалом.....			
Пренатрпаност - недовољан простор.....			
Недостају алтернативни правци преношења материјала.....			
Укрштање стаза и праваца омета нормалан проток материјала.....			
Сувише велика растојања између локација појединих операција.....			
Препреке у протоку материјала.....			
Споро кретање материјала.....			
НАЧИН РУКОВАЊА МАТЕРИЈАЛОМ			
Преношење артикала појединачно.....			
Сувише мануелних операција.....			
Ручно пуњење и утовар у производним операцијама.....			
Ручно скидање готових производа.....			
Неадекватно уклањање отпадака.....			
Сувишно складиштење на радном месту.....			
Уска грла у производњи.....			
Ручно се обавља тежак, опасан посао.....			
Материјал се не испоручује директно до радног места.....			
Непланиране методе руковања материјалом.....			

Транспорт и руковање тешким деловима.....	
Претерано механизован транспорт.....	
Операције опасне по живот.....	

ТРАНСПОРТНЕ ЈЕДИНИЦЕ (ТЈ)

Не постоји јединични терет.....	
ТЈ не користе се у наредним фазама преношења	
Примењене ТЈ су сувише велике или сувише мале.....	

ОПРЕМА КОЈА СЕ КОРИСТИ У ТРАНСПОРТУ

Не унифицирана опрема.....	
Опрема се не уклапа у систем унутрашњег транспорта.....	
Оптерећење опреме сувише велико.....	
Недовољно сигурна опрема.....	
Неадекватно одржавање	
Мала флексибилност опреме.....	

РАДНА СНАГА

Велики број повреда на раду.....	
Велики број људи ангажованих на опрацијама унутрашњег транспорта и руковања материјалом.....	
На транспорту ангажована производна радна снага.....	
Радници на машинама чекају на материјал.....	
Тежак физички напор.....	

СКЛАДИШТА

Лоше пословање.....	
Недостатак простора.....	
Загушење саобраћаја.....	
Вишак материјала на радним површинама.....	
Мале позиције на великом простору.....	
Велике позиције на малом простору.....	
Материјал нагомилан на поду.....	
Неред на рампама.....	
Тежак прилаз роби.....	
Оштећена роба.....	
Недовољно осветљење.....	
Ходници сувише узани.....	
Ходници сувише широки.....	
Нестандардне палете.....	
Палете не одговарају простору.....	
Честа употреба привременог простора.....	
Лоша локација транспортног уређаја.....	
Лоша локација ходника.....	
Неправилни ходници.....	
Лоше искоришћење површине.....	
Дугачко време прикупљања наруџбина.....	
Тешки, велики терети далеко од врата.....	
Брзи, и спори артикли на истој локацији.....	

5.3. Принцип јединичног терета

Принцип јединичног терета подразумева транспортовање материјала на најефикаснији начин коришћењем најпогоднијег облика и величине транспортне јединице (**ТЈ**), користећи механизована средства у циљу смањења броја циклуса неопходних за дату количину материјала. При томе транспортна јединица може да садржи комадни терет, расути терет, течност или гас и треба да буде тако обликована да се лако прихвата и транспортује кроз дати процес и да омогући повезивање појединих транспортних операција на нивоу система, обезбеђујући при томе економичан начин транспорта. Предности коришћења јединичног терета су следеће:

- преношење великих количина материјала у једном циклусу транспортовања,
- велики интензитет протока материјала,
- боље и једноставније опслуживање,
- краће време утовара и истовара,
- јединствени облик терета који се транспортује,
- боље искоришћење простора (посебно у складиштима),
- боља заштита терета,
- сигурнији транспорт,
- једноставније слагање терета,
- једноставније ускладиштење,
- смањење транспортних трошкова.

Недостаци примене јединичног терета:

- трошкови формирања палетне јединице (нпр. палетизација),
- трошкови расформирања **ТЈ** (нпр. депалетизација),
- захтевана механизована опрема за транспорт,
- неискоришћени простор (попуњеност палете, суда),
- маса транспортне јединице некада утиче на повећање носивости транспортног средства,
- проблем враћања празних транспортних јединица.

Типови јединичног терета који се највише користе у индустријском транспорту:

- разни облици палета, судова, контејнера,
- разни облици самоносећих **ТЈ** на точковима (нпр. колица итд.),
- бунтови, бале, ролне (нпр. папир),

- основна паковања (користе се у унутрашњем транспорту и на складиштима нпр. у процесу комисионирања).

5.3.1. Избор транспортне јединице (ТЈ)

Проблем избора одговарајуће **ТЈ** је веома сложен процес зато што је јединични терет један од главних параметара који утичу на формирање транспортног система па му је потребно посветити пажњу. При избору **ТЈ** потребно је разматрати следеће факторе:

- сврху примене (транспорт, ускладиштење, снабдевање потрошача),
- позиције или материјал који се транспортују на **ТЈ** (маса, димензије, облик, врста материјала, паковање итд.),
- транспортни систем, његове могућности и ограничења (конвејер, виљушкар итд., помоћна опрема, компатибилност **ТЈ** и система),
- складишни систем (регали, блок, простор итд.),
- возила спољног транспорта (носивост, димензије, отворена, затворена, хладњаче итд.),
- зграда (облик, распон стубова, ширина транспортних ходника, отвори, врата, квалитет и носивост пода, карактеристике лифтова, пријемне и отпремне рампе итд.),
- карактеристике **ТЈ** (враћа се у процес, неповратна, ломљива итд.),
- начин слагања позиција или јединичног паковања на **ТЈ**,
- да ли је **ТЈ** стандардна или не, најчешће се користе стандардне димензије: 800x1.000, 800x1.200, 1.000x1.200, 1.200x1.600 и 1.200x1.800.
- број различитих палета у транспортном систему,
- однос између величине јединичног простора (**ТЈ**) и простора за ускладиштење (у складиштима, погонима, камионима, вагонима, бродовима).

На слици 5-1 приказано је формирање одговарајућег простора.

5.3.2. Пројектовање система јединичног терета

После разматрања концепта јединичног терета и његове везе са другим утицајним факторима приступа се пројектовању система. Потребно је истражити утицај низа фактора (неки су већ раније поменути) који утичу на пројектовање целокупног система за транспорт јединичног терета. Основни фактори који се разматрају су следећи:

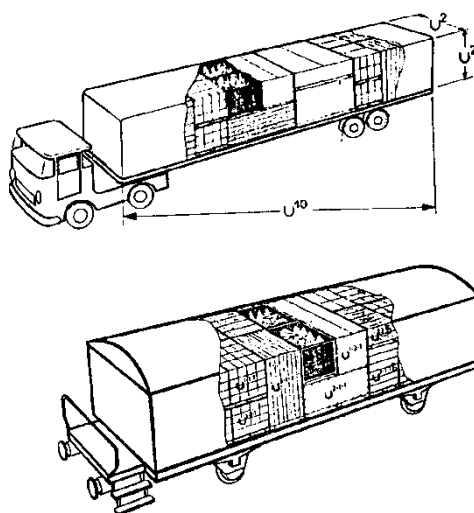
- пројектни задатак (материјали, количине итд.),

5. Кретање материјала

- циклус транспорта (услови, посебни захтеви за међу складиштењем, утицај пута, утицај околине, итд.).
- физичка ограничења простора (врата, ходници, пријемне и отпремне рампе, димензије и висина простора, лифтови, распоред машина итд.),
- ограничење носивости (пода, возила, рампи, регала),
- економска ограничења (инвестициони трошкови, трошкови формирања јединичног терета (палетизација), експлоатациони трошкови итд.).

Посебно треба напоменути, да при пројектовању транспортног система морају да буду задовољени наведени критеријуми (бар већина од њих) за избор транспортне јединице:

- оптималан облик и носивост,
- универзалност примене,
- чврстоћа конструкције,
- мала маса,
- лако пуњење и пражњење (нпр. палетизација и депалетизација),
- могућност транспортовања стандардном опремом,
- могућност замене са сличном **ТЈ**,
- лака идентификација (нарочито код аутоматизованих система),
- могућност слагања једне јединице на другу,
- могућност ускладиштења,
- дизајн (посебно ако је неповратна),
- једноставно одржавање,
- ниска цена,
- ниски трошкови палетизације/депалетизације.



Слика 5-1. Формирање одговарајућег простора

5.3.3. Формирање јединичног терета

Низ фактора утиче на модел слагања јединичног паковања на транспортну јединицу. Навешће се неки од значајних утицаја:

- палета (тип и димензије),
- јединично паковање (димензије, облик, маса, посебни услови нпр. ломљивост итд.),
- начин слагања (ручно, механизовано, аутоматски, робот),
- транспортни уређаји и методе транспорта,
- облик (layout) складишта,
- габарит возила спољног транспорта,
- коришћење **ТЈ** у процесу комисионирања,
- карактеристике кретања,
- посебна жеља корисника,
- трошкови формирања **ТЈ** (рад, материјал, опрема).

5.3.4. Стабилност терета на ТЈ

Стабилност терета на **ТЈ** није критична у већини случајева када се користе у претовару и транспорту судови и контејнери. На палетама терет може да се слаже без посебног осигурања када су јединична паковања погодног облика (равних површина) одговарајућих димензија, масе и коефицијента трења између појединих паковања и паковања и палете, тако да не може да дође до померања терета и поремећаја стабилности услед дејства инерцијалних сила или неравнина на путу. У случајевима када је потребно обезбедити посебну стабилност (нарочито при транспорту возилима спољног транспорта) користе се следећа средства за причвршћивање терета:

- траке (пластичне, челичне),
- самолепљива трака, или
- пластична или папирна фолија.

Основни начини захватања јединичног терета (**ТЈ**) су следећи:

- подизањем помоћу виљушки или платформи,
- подизањем помоћу куке или ужета, и
- помоћу специјалних уређаја за захватање.

5.3.5. Ефикасност коришћења ТЈ

Основни показатељи који треба да прикажу ефикасност примене **ТЈ** у процесу кретања материјала и омогуће упоређивање различитих типова **ТЈ** су следећи:

- маса **ТЈ**/просечна маса терета
- маса **ТЈ**/укупна запремина **ТЈ** са теретом
- маса **ТЈ**/корисна запремина терета
- номинална носивост **ТЈ**/укупна запремина **ТЈ** са теретом
- номинална носивост **ТЈ**/корисна запремина терета
- номинална носивост **ТЈ**/укупна маса терета
- номинална носивост **ТЈ**/просечна маса терета
- номинална носивост **ТЈ**/површина **ТЈ**
- просечна носивост **ТЈ**/површина **ТЈ**
- корисна запремина терета/укупна запремина **ТЈ** са теретом
- номинална носивост **ТЈ**/цена **ТЈ**
- укупна запремина **ТЈ** са теретом/цена **ТЈ**

5.4. Пројектни задатак за решење кретања материјала (неопходни подаци)

5.4.1. Подаци о терету који се транспортује

- Врста материјала: коадни, расути, прах, течност, гас.

5.4.2. Својства материјала који се транспортује

- Маса, габарит: дужина, ширина, висина, пречник (mm), просечна маса максимална маса, запреминска маса (t/m^3), запремина, гранулат (mm).
- Облик: цилиндричан, призматичан, лоптасти, профили, лимови, цеви, неправилан.
- Механичка својства: без утицаја, чврст, ломљив, оштрих ивица, лепљив, ствара прашину (количина g/m^3), може да се слаже један на други.
- Физичка својства: без утицаја, температура, садржај влаге, вискозност, тврдоћа, гранулација, порозност, намагнетисан, радио активан, запаљив, угао нагињања у стању мировања, кретања, угао трења.
- Хемијска својства: без утицаја, корозиван, нагриса околину (киселина, оксиданс, итд.), осетљив на светло, хидроскопан, масан, обојен, експлозиван, отрован, температура самозапаљења, рок трајања (дана).

5.4.3. Јединично паковање (основно паковање)

- Начин паковања: није упакован (отворен), кеса, (папирна, пластична), картон, отворени суд, конзерва, флаша, балон, цак, бала, калем, бунт.

5.4.4. Транспортне јединице (ТЈ)

- Врсте **ТЈ**: основно паковање (кутија, кеса, итд.), палета, суд, контејнер, бунт, веза, бала.
- Карактеристике **ТЈ**: Тип, извођење и маса терета у/на **ТЈ**, стандард, димензије, маса празне јединице, скица паковања, суда, палете, итд.
- Материјал суда јединичног паковања, **ТЈ**: Без утицаја, дрво, папир, метал, стакло, текстил, пластика, други материјали.
- Својства суда, јединичног паковања, **ТЈ**: Отворен, затворен, не пропушта воду, не пропушта ваздух, гас, не пропушта мирисе, подпритиском, запечаћен, може да се расклопи, отпоран на удар, трајно паковање (не враћа се у процес), поново се враћа у процес, може да се сложи до n комада, може да се складишти у регалима.

5.4.5. Посебни утицаји

- Без утицаја, компримовани ваздух, гас, влажни расути терет, прехрамбени материјал, постојана течност, непостојана течност, терети исте врсте, различити терети, потребан транспорт цевима.

5.4.6. Подаци о локацији

- Транспортни пут: бетон, асфалт, земља, камене плоче, туцаник, песак, метал, вештачки материјал, дрвене коцке, шине, предвиђена (постојећа) кранска стаза (врста, носивост, дужина, распон), транспортни пут на отвореном, транспортни пут у згради.
- Карактеристике транспортног пута: дозвољено оптерећење пода (t/m^2), дозвољено оптерећење крова (t/m^2), ширина пута, слободна висина изнад пута, највећи успон (%), највећи пад (%), највећи бочни нагиб (%), радијуси кривина, димензије окна уколико се користи лифт, ширина пролаза за људе, дозвољена висина уређаја (возила) које се креће датим путем, дозвољена ширина возила, чиста растојања од уређаја до елемената конструкције, облик зграде, мрежа стубова.

5.4.7. Утицај околине

- Без утицаја, температура ($^{\circ}\text{C}$), влага (%), притисак ваздуха, прашина (g/m^3 ваздуха), степен запрљаности, загађење простора, ветар, киша, снег, лед.

5.4.8. Погонска енергија

- Ручно, гравитацијом (угао нагиба), батеријски (Ah), електрична мрежа (V, Hz), извор једносмерне струје (V, A), бензин, гас, дизел, пара (bar), компримовани ваздух (bar).

5.4.9. Напајање енергијом

- Сопствени погон, шина за напајање струјом, кабл, колица са каблом на добошу или сл., цев, гумено црево.
- Извођење прикључка, координате места прикључка, брзина кретања уређаја, потрошња енергије, радни притисак (bar), радни напон (V), станица за пуњење акумулатора, станица за пуњење горива.

5.4.10. Простор за ускладиштење

- Отворени/затворени простор (хала, приземна/спратна зграда), у регалима, без регала, бункер, силос, резервоар, залихе (предвиђене/сигурносне).

5.4.11. Остали подаци везани за локацију

- Веза са уређајима спољног транспорта: рампа, колосек, кеј, итд.

5.4.12. Капацитет

- Обим транспорта и динамика: број захтева у току часа, дана, године, комада на час, дан, годину, t/h , време рада, планирање промена (проширење, повећање обима транспорта, итд.), врста материјала, број артикала, динамика довоза и одвоза.
- Брзина: без значаја, са теретом, без терета (max, min, просечна), брзина подизања, убрзање, успорење, брзина код комбинованог кретања, фина брзина (брзина подешавања), начин позиционирања.

5.4.13. Термини транспорта

- Времена допреме/отпреме, планирано/макс време ускладиштења,

5.4.14. Законска и друга ограничења

- Највећа температура/влажност, дозвољена бука, дозвољена количина прашине, сигурносни прописи, прописи заштите на раду, прописи везани за паковање, пенали за кашњење при истовару итд.

5.4.15. Остали подаци

- Кратак опис транспортног задатка, скице терета, скице **ТЈ**, скице локација са означеним транспортним путевима, шема тока производње, планови постојећих инсталација, опис досадашњег начина транспорта.

5.4.16 Трошкови

- Трошкови инвестициони/експлоатациони, простора, енергије, итд.

5.4.17. Општи подаци везани за решавање транспортног проблема

- Захтеви које треба да испуни транспортни систем: транспортовање, претовар (утовар, истовар), подизање, спуштање, окретање, слагање терета, дозирање, бројање, рангирање, сортирање, мерење масе, паковање, контрола, ускладиштење, итд.
- Захтевани принцип транспорта; није предвиђен, прекидни/континуални транспорт, транспорт изнад/испод пода, транспорт механичким уређајима, цевима, пнеуматски, хидраулични, степен механизованости, ниво аутоматизације, флексибилност.

5.5. Капацитет транспортних уређаја

Капацитет транспортног уређаја или система је дефинисан као *количина расутог терета (дата у јединицама масе или запремине) или број јединица терета - **ТЈ** (за комадни терет) који се преносе у јединици времена*. При томе је потребно разликовати пројектовани, технички и стварни (радни) капацитет.

5. Кретање материјала

Пројектовани, технички капацитет је количина терета која се преноси у јединици времена при номинално напуњеном елементу (уређају) који носи терет, при пројектованој (константној) радној брзини. Значи да је пројектовани капацитет уређаја одређен параметрима самог уређаја и својствима терета који се транспортује. Стварни (радни) капацитет је одређен експлоатационим условима рада и зависи од:

- степена стварног искоришћења носивости елемента који носи терет η_ψ , и од специфичних услова експлоатације: напајања уређаја, влаге, температуре, временских услова, итд.; обично се узима да је $\eta_\psi = 0,85 - 1$,
- временског искоришћења уређаја η_ρ , и
- стварних радних услова (фактора готовости η_g).

Фактор готовости је дат изразом, где је:

$$\eta_g = \frac{\sum T_f}{\sum T_f + \sum T_p}$$

где је:

$\sum T_f$ - укупно време које систем проведе у раду

$\sum T_p$ - укупно време које систем проведе у отказу.

Однос између стварног (индекс s) и пројектованог капацитета је дат изразом:

$$\eta_s = \frac{Q_s}{Q} = \frac{V_s}{V},$$

где је:

Q_s - стварни (радни) капацитет уређаја (t/h),

Q - пројектовани капацитет уређаја (t/h),

V_s - стварни капацитет уређаја (m³/h),

V - пројектовани капацитет уређаја (m³/h),

η_s - укупни коефицијент искоришћења уређаја.

Укупни коефицијент искоришћења уређаја је дат изразом:

$$\eta_s = \eta_\psi \cdot \eta_\rho \cdot \eta_g.$$

При одређивању капацитета транспортних уређаја разматрају се следећи случајеви транспорта:

- континуални транспорт расутог терета,
- прекидни транспорт расутог терета,

- континуални транспорт комадног, и
- прекидни транспорт комадног терета.

У свим случајевима параметри који одређују капацитет су просечне количине терета по јединици дужине транспортера и радна брзина транспортовања. Просечна количина терета по јединици дужине транспортера може да се изрази у јединици масе q_m (kg/m) или запремине q_v (m³/m), па је капацитет дат изразом:

$$Q = q_v \cdot v \cdot \rho = q_m \cdot v,$$

$$V = q_v \cdot v,$$

где је:

ρ - густина расутог терета (t/m³),

v - брзина транспортовања (m/s).

Уколико расути терет има попречни пресек A_o (m²) са коефицијентом попуњености пресека ψ ($\psi \leq 1$, зависи од својстава материјала који се транспортује, облика носећег елемента, начина транспортовања итд.), стварни попречни пресек материјала је $A = A_o \cdot \psi$ (m²) и количина по дужном метру транспортера (kg/m) или (m³/m) је дата изразом:

$$q_m = A_o \cdot \rho \cdot \psi,$$

$$q_v = A_o \cdot \psi.$$

Заменом величина q_m и q_v у претходне једначине добија се:

$$Q = A_o \cdot v \cdot \rho \cdot \psi,$$

$$V = A_o \cdot v \cdot \psi.$$

Уколико се расути терет транспортује у носећим судовима транспортера (нпр. код елеватора, конвејера са корпама) запремине i_o са коефицијентом пуњења ψ , запремина терета у суду је $i = i_o \cdot \psi$, и ако је растојање између судова S , запремина терета по дужном метру конвејера је дата изразом:

$$q_v = \frac{i}{S} = \frac{i_o \cdot \psi}{S},$$

па је капацитет дат изразом:

$$Q = \frac{i}{S} \cdot v \cdot \rho = \frac{i_o}{S} \cdot \psi \cdot v \cdot \rho,$$

$$V = \frac{i}{S} \cdot v = \frac{i_o}{S} \cdot \psi \cdot v.$$

5. Кретање материјала

Када се јединични терет (**ТЈ**) просечне масе m (kg) преноси појединачно или у групама од z комада, са растојањем (корак конвејера) између терета S , маса терета по јединици дужине конвејера (kg/m) ће бити:

$$q_m = \frac{m}{S} \quad \text{или} \quad q_m = \frac{m \cdot z}{S}$$

па је капацитет дат изразом:

$$Q = \frac{m}{S} v \cdot \psi \quad \text{или} \quad Q = \frac{m \cdot z}{S} v \cdot \psi$$

где је:

ψ - коефицијент попуњености транспортера.

Код транспортовања јединичног терета, капацитет се често израчунава као број комада у јединици времена. При томе је просечни интервал времена између комада дат изразом:

$$t = \frac{S}{v},$$

па је капацитет у коадима (kom/h) дат изразом:

$$Z = \frac{v}{S} \psi \quad \text{или} \quad Z = \frac{z \cdot v}{S} \psi$$

Пошто је капацитет транспорта расутог терета уређајима континуалног транспорта функција попречног пресека носећег елемента терета, односно јединичног оптерећења и радне брзине, при избору уређаја, уколико је дата брзина кретања за дати тип уређаја, одређују се геометријски параметри носећег елемента терета, нпр. површина пресека, запремина и облик суда и корак, итд., да би се обезбедио захтевани капацитет. Када се одреде геометријски параметри носећег елемента, потребно је извршити проверу да ли је елемент прилагођен за прихватање највећих комада (гранулата) који се транспортују и да ли је компатибилан са претходним и наредним елементом транспортног система.

Технички капацитет уређаја прекидног транспорта је дат изразом:

$$Q = q_o \cdot \psi \cdot N_c,$$

где је:

q_o - номинална носивост уређаја,

ψ - просечни коефицијент искоришћења носивости,

N_c - број радних циклуса уређаја.

$$N_c = \frac{1}{\sum t_i}$$

где је:

$\sum t_i$ - збир елементарних времена појединих захвата и кретања које уређај направи у току једног циклуса.

Упрошћено израз за N_c гласи:

$$N_c = \frac{1}{t_0 + \frac{2 \cdot l}{v}}$$

где је:

t_0 - помоћно време које обухвата захватање терета, пуштање, или утовар и истовар уређаја (време потребно за претовар),

l - дужина пута између тачака пријема и отпреме терета,

v - просечна брзина кретања уређаја (зависи од услова рада, квалитета пута, ширине пута, од броја учесника у саобраћају, укрштања транспортних путева, итд.).

Стварни капацитет претовара се израчунава на исти начин као и код уређаја прекидног транспорта.

5.6. Елементи за повезивање, спајање и раздвајање

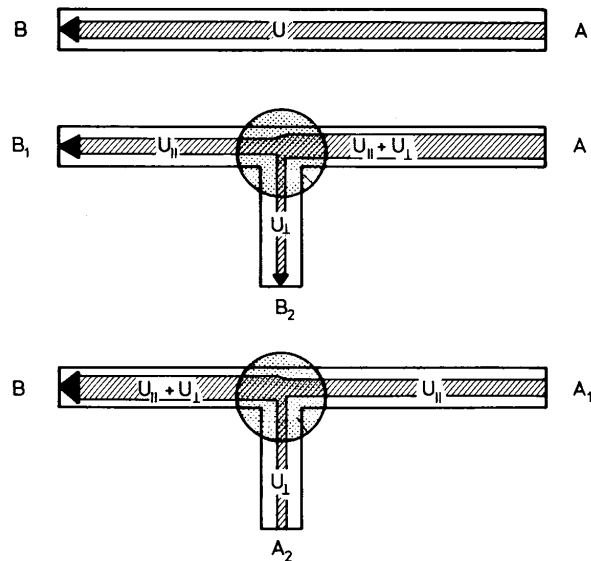
Основни задатак система унутрашњег транспорта је премештање терета, свођење неколико токова у један и расподела терета из једног тока у неколико, тј. обезбеђивање просторне везе тачака отпреме са тачкама допреме. Поред тога транспортни системи могу да преузму функцију међускладишта, односно остварују и везу по времену (на пример конвејери, проточни регали и др.). У појединим случајевима транспортни систем може да испуњава и друге задатке, на пример сортирање наруџбина, тј. образовање групе терета по задатом програму. Зависно од задатака који треба да испуне транспортни системи могу да се поделе на :

- чисто транспортне (транспортивање терета),
- претоварне,
- покретна складишта, и
- за скупљање или расподелу терета (као правило, укључују у себе елементе осталих система).

Системи који транспортују терет ка задатој тачки или од ње садрже следеће основне елементе: елемент за повезивање, елемент за раздвајање (рачвање, дељење) и елемент за спајање (слика 5-2). Елементи за повезивање места

5. Кретање материјала

допреме и отпреме служе за транспортовање или за скупљање терета (акумулацију) на простору између две тачке. Конструктивно они се изводе као средства непрекидног транспорта (различити типови конвејера) или прекидног транспорта (колица са погоном или без, вагонети, утоваривачи, подизачи, једношине дизалице, складишни кранови.). Код система прекидног транспорта раздвајање и спајање токова може да се реализује и у међускладишту.



Слика 5-2. Елемент за повезивање (A - B), елемент за раздвајање (A - B₁, B₂), елемент за спајање (A₁, A₂ - B).

Елементи за рачвање (дељење) тока $\lambda = \lambda_1 + \lambda_2$ могу да буду:

- непрекидног дејства (не долази до прекида тока, застоја - нпр. обртни сто са ролгангом код кретања у правцу главног тока), и
- прекидног дејства (нпр. обртни сто са ролгангом) када јединице скрећу у бочни ток.

Елемент за спајање обједињује два тока материјала λ_1 и λ_2 у један ток

$$\lambda_1 + \lambda_2 = \lambda$$

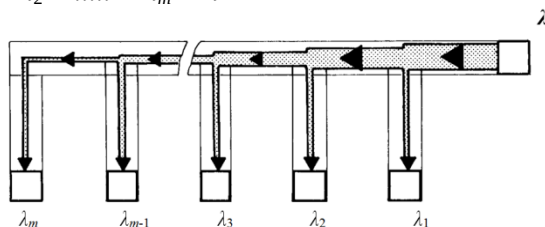
Ово је обрнути процес од претходног и може такође да буде непрекидан и прекидан. Са гледишта остваривања интанзитета протока система ограничавајући фактор представљају елементи за рачвање или спајање.

Системи за расподелу обично предају терете (ТЈ) на неколико паралелних станица опслуживања (нпр. паралелна станица за комплетирање или паковање).

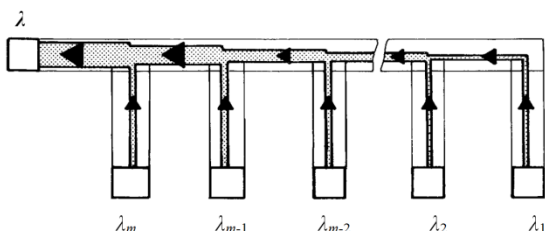
$$\lambda = \lambda_1 + \lambda_2 + \dots + \lambda_m$$

где је m број појединих токова (слика 5-3). Системи за спајање (сакупљање) терета обично премештају терет од неколико паралелних станица опслуживања ка једном збирном месту (слика 5-4).

$$\lambda_1 + \lambda_2 + \dots + \lambda_m = \lambda$$

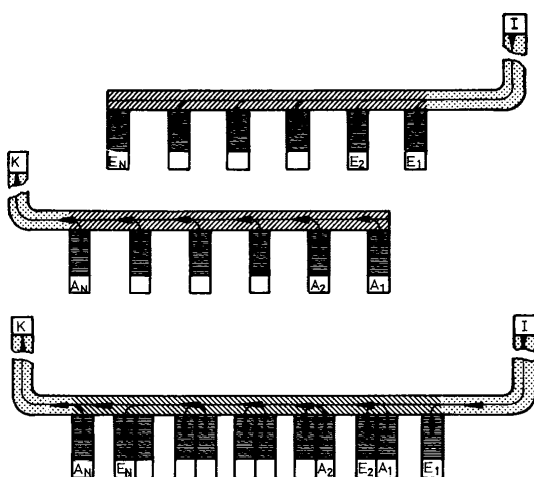


Слика 5-3. Систем за рачвање (дељење) тока материјала.



Слика 5-4. Систем за спајање (сакупљање) токова материјала.

Ако су за токове материјала сакупљања и расподеле терета, карактеристичне опште законитости, за зоне међускладишта тих система наведене законитости нису својствене. При томе су могуће три основне варијанте повезивања које се користе у високорегалним складиштима (слика 5-5). Улаз у систем је означен са I , а излаз из система са K . Улазни ролганзи у складиште су означени са E_1 до E_n , а излазни са A_1 до A_n .



Слика 5-5. Основне варијанте постављања улазно/излазних транспортера у високорегалним складиштима /Gudehus 1973/.

5. Кретање материјала

У првој варијанти оба система су просторно потпуно аутономна. У другој варијанти је дат делимично комбиновани систем са општим магистралним елементом, који служи за транспорт до станица опслуживања.

Преимућство прве варијанте:

- могућност утовара и истовара на разним местима и једновременог остваривања ових процеса,
- могућност проширења система,
- једноставно управљање и организација.

Недостаци:

- висока цена опреме, и
- потребан велики простор за постављање система.

Основни критеријуми за избор система:

- неопходност раздвојених улаза и излаза,
- планирано проширење транспортног система,
- захтевана једноставност организације.

Преимућства друге варијанте:

- сједињавање у простору и времену довоза и отпреме терета,
- знатно мањи трошкови за транспортне уређаје.

Недостаци:

- зависност операција пријема и отпреме терета,
- недовољна могућност проширења, и
- велике потребе у средствима за управљање; сложенија организација рада.

Основна карактеристика елемената за повезивање је максимални проток μ , тј. највећи број јединица који може да се пренесе датим транспортним средством у јединици времена из тачке Е у тачку А.

За уређаје непрекидног транспорта су дати изрази:

$$\mu = \frac{v}{S} \quad \text{или} \quad \mu = \frac{z \cdot v}{S}$$

где је:

S - корак; зависи од габарита терета, растојања између појединих терета и начина управљања,

v - брзина кретања; зависи од врсте и масе терета, услова рада и погона,

z - број јединичних терета у транспортној јединици.

За уређаје прекидног транспорта:

$$\mu = \frac{R}{t_o + \frac{2l}{v}} \quad \text{или} \quad \mu = \frac{Z \cdot R}{t_o + \frac{2l}{v}}$$

где је:

R - број транспортних средстава која се користе,

t_o - време претовара,

l - транспортни пут,

v - просечна брзина кретања уређаја.

Ако се занемари величина t_o , што је могуће при дугачким путевима (l) и малој величини t_o , и ако се стави

$$\frac{2l}{R} = S,$$

израз прелази у једначину за континуални транспорт, где $2l/R$ представља средње растојање између две носилке непрекидног транспортног средства (или два положаја **ТЈ** на тракастом транспортеру).

У случају када може да се измери време претовара, са тачке гледишта експлоатације транспорта, средства прекидног типа могу да се разматрају као непрекидна. При томе је неопходан услов од кога зависи радна способност елемената за повезивање, да буде испуњен услов:

$$\frac{\lambda}{\mu} \leq 1$$

Поред тога неопходно је проверити његову способност акумулирања. При избору техничких карактеристика елемената за повезивање процеса неопходно је узети у обзир компатибилност тих уређаја са претходним и наредним у ланцу транспортног система и то нарочито са елементима за рачвање и спајање.

Елементе за рачвање и спајање тока карактеришу два показатеља: максимални проток у датом правцу (μ_1) и у правцу где долази до скретања тока (μ_2). На слици 5-6 је дат пример извођења елемената за спајање (окретни сто са ролгангом).

5. Кретање материјала

Неопходан услов за нормалан рад оваквог елемента је да у сваком тренутку буде:

$$\frac{\lambda_1}{\mu_1} + \frac{\lambda_2}{\mu_2} \leq 1$$

Интензитет протока на делу непромењеног правца тока ограничава се током у правцу скретања. Интензитет протока у правцу главног тока је:

$$\rho_1 = \frac{\lambda_1}{\mu_1},$$

а у правцу бочног тока:

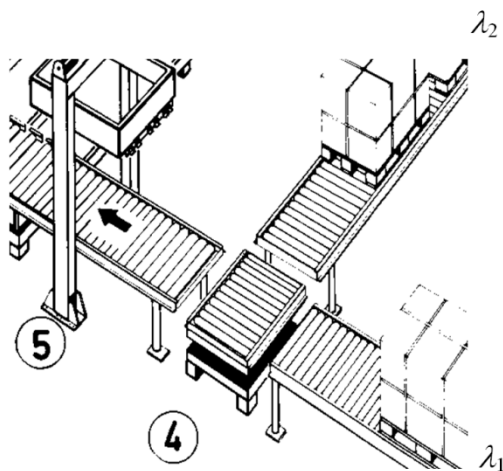
$$\rho_2 = \frac{\lambda_2}{\mu_2};$$

очигледно је да је укупни коефицијент искоришћења $\rho < 1$, где је $\rho = \rho_1 + \rho_2$.

Подразумева се да је сваки ток који улази у елемент за рачвање (дељење) или елемент за спајање дужан да задовољи услове:

$$\frac{\lambda}{\mu} \leq 1 \qquad \frac{\lambda_1}{\mu_1} + \frac{\lambda_2}{\mu_2} \leq 1$$

па је у пракси немогуће остварити прорачуном добијен максимални проток.



Слика 5-6. Окретни сто са ролгангом

После избора елемената за рачвање или спајање по датом критеријуму, проверава се компатибилност са другим елементима система и могућност аутоматизације. При томе треба имати у виду да наведене зависности карактеришу општу законитост тока, који има k елемената.

$$\frac{\lambda_1}{\mu_1} + \frac{\lambda_2}{\mu_2} + \dots + \frac{\lambda_k}{\mu_k} < 1$$

Интензитет протока је дат горњим изразом при чему је μ_i ($i=1, 2, \dots, k$) максимални могући ток у i -том правцу.

При прорачуну транспортног система потребно је испитати критичне елементе система. За случај приказан на слици то је у систему за рачвање први и у систему за спајање токова последњи. Ако се покаже да ови елементи система задовољавају, за остале елементе могу да се предвиде уређаји мањег капацитета.

Са гледишта теорије чекања /Зрнић 1978/ сваки (технички) елемент транспортног система може да се посматра као станица опслуживања, чије радне карактеристике могу да се предвиде са одређеном вероватноћом (нпр. дужина реда чекања), тј. да се анализирају фактори који условљавају појављивање редова. Очевидно је да просечна дужина реда зависи од коефицијента оптерећења (интензитет протока) ρ и расподеле вероватноће времена долазака јединица у систем и њиховог опслуживања.

За формирања редова испред елемената за рачвање или спајање није нађено аналитичко решење које може да се практично примени. При томе могу да се примене следећи емпиријски изрази проверени симулацијом. Просечна дужина реда чекања тока λ_2 (долазак јединица се понаша по Поасоновој расподели) који се улива у ток са приоритетом λ_1 (види слику 5-6) је дат изразом /Gudehus 1973/:

$$N_s(\rho_1, \rho_2) = \rho_1 + \frac{\rho_2}{(1 - (\rho_1 + \rho_2))^2}$$

где је:

ρ_1 - интензитет протока за ток са приоритетом (не мења правац кретања),

ρ_2 - интензитет протока тока који се улива.

Потребно је напоменути да је јединица која се налази у зони спајања или раздвајања (на елементу) такође припада систему чекања.

Уколико се спајање два тока у један остварује по принципу први који дођу први се опслужује **FIFO** (First In - First Out), могуће је појављивање два реда чекања. Просечне дужине редова у овом случају су дате изразима /Gudehus 1973/:

$$N_1(\rho_1, \rho_2) = \frac{\rho_1}{1 - (\rho_1 + \rho_2)^2}$$

$$N_2(\rho_1, \rho_2) = \frac{\rho_2}{1 - (\rho_1 + \rho_2)^2}$$

5. Кретање материјала

Упоредба ових зависности са претходним случајем, при дисциплини опслуживања **FIFO**, код спајања два тока појављују се два реда чекања, али се постиже бољи проток јединица и потребан је мањи укупни простор неопходан за чекање јединица на опслуживање.

Просечна дужина реда испред елемената за рачвање при долазном току који има Поасонову расподелу и који се дели на два тока и временом опслуживања које има експоненцијалну расподелу одређује се изразом /Gudehus 1973/:

$$N(\rho_1, \rho_2) = \frac{\rho_1 + \rho_2}{1 - (\rho_1 + \rho_2)^2}$$

Време између наилаaska две јединице је ограничено самим уређајем, тј. при $t = 0$ (што је могуће при Поасоновој расподели) је искључено једновременно долажење две јединице, тако да је стварна дужина реда мања од оне коју дају претходни изрази.

Анализа показује да коефицијент искоришћења елемената транспортних система зависи од степена случајности далазака и отпреме јединица тако да на формирање реда чекања може да се утиче системом управљања. Системи за сакупљање и рачвање транспортних јединица имају две основне стратегије управљања: циклично и групно.

Шема управљања по цикличном принципу се примењује у случају ако јединице које долазе (идентичне) треба више или мање равномерно да се расподеле између N - тачака (адреса $A_1 - A_i$). Овај случај имамо код високорегалних складишта, где се у циљу постизања високе поузданости јединице (исте врсте) шаљу у разне ходнике. Ово је немогуће ако су већ раније одређене адресе (складишта са фиксним локацијама). Јединице иду по **FIFO** принципу на одредишта A_1 --- A_2 --- A_3 ---итд. После снабдевања свих тачака процес се понавља (има циклички карактер).

Код групне шеме управљања на сваку адресу (A_i) шаље се толико јединица, тј. група, колико их је могуће сместити на делу за акумулацију пред датом тачком. При томе се редослед опслуживања тачака одређује по критеријуму најмање дужине реда чекања испред дела за скупљање јединица. Ово дозвољава да се повећа коефицијент искоришћења не само транспортних средстава него и станица за опслуживање уколико се рад тих станица карактерише знатним колебањима времена опслуживања (на пр. одељење за паковање складишта готове производње).

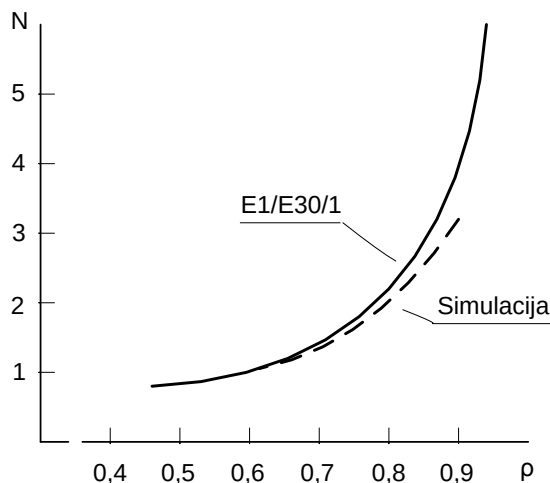
При пројектовању комплексних транспортних система често се не поклања довољна пажња местима где се врши акумулација транспортних јединица (међускладиштима). При томе је потребно одредити зависност између ових тачака и коефицијента искоришћења појединих уређаја.

Елементи за спајање могу такође да преузму улогу тачке за акумулацију (међускладишта), чији капацитет зависи углавном од дужине елемената и њиховог конструктивног решења. Њихова улога је двострука: акумулишу јединице (долазне) испред конвејера за дељење и у другом случају обезбеђују непрекидно снабдевање следећег уређаја (цикличног дејства) у тренуцима када му је циклус опслуживања краћи од просечног са којим је уствари усклађен ритам долазака јединица, тако да тачке за акумулацију обезбеђују висок коефицијент искоришћења уређаја.

Доказано је да просечна дужина реда испред станице за опслуживање зависи од расподеле вероватноће наилазака јединица, расподеле времена опслуживања и коефицијента оптерећења датог елемента. Када долазак јединица и њихово опслуживање имају стохастички процес, расподела вероватноће има најчешће експоненцијални карактер.

У пракси динамика долазака јединица као и њиховог отпремања се мења у одређеним границама, зато што техничка средства којима се обавља транспорт јединица захтевају неки минимални интервал времена (t_{min}) који раздваја две узастопне јединице које наилазе, или се опслужују. При томе узимајући у обзир ограничење протока транспортног ланца, тј. при $t > t_{min}$ посматра се квазистохастичка, а не чисто стохастичка расподела вероватноће, тако да ће дужина реда при тој средњој величини (t) бити мања него при стохастичкој расподели /Gudehus 1973/.

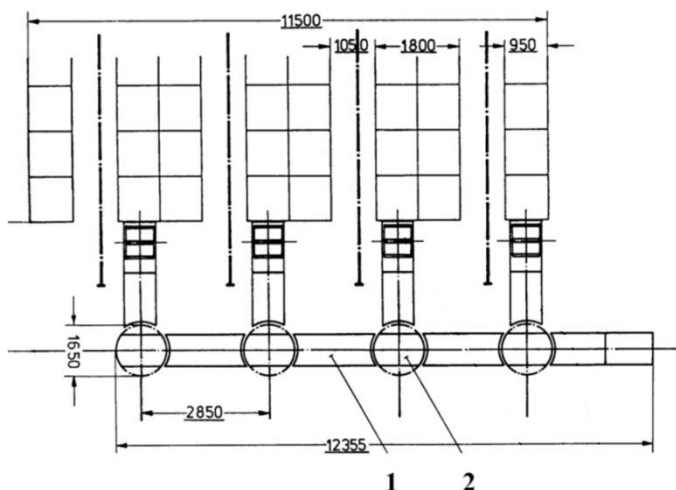
Ако се погледају резултати симулације уочава се да су добијене просечне вредности мање од теоријских. Ово се објашњава тиме што су реални процеси квазистохастички, а не чисто стохастички (слика 5-7). Наведен је пример за криве добијене аналитичким изразима и резултати симулације ($E1/E30/1$).



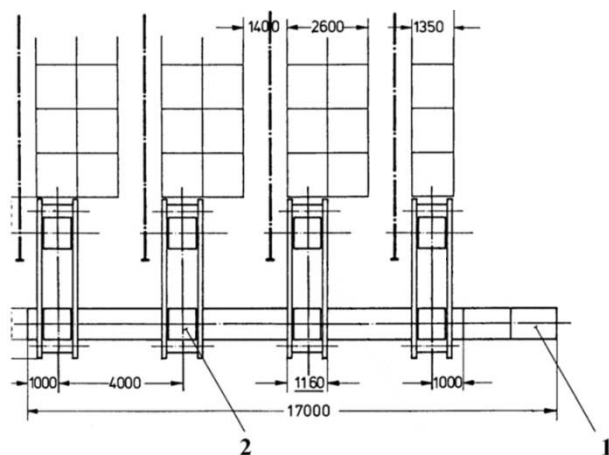
Слика 5-7. Пример за $E1/E30/1$

5. Кретање материјала

На сликама 5-8 и 5-9 су дати примери извођења елемената за рачвање и спајање на улазу у високорегално складиште (ролганг/окретни сто са ролгангом, слика 5-8; ролганг/подизни сто са ролнама, слика 5-9 /према DEMAG Systemtechnik/.



Слика 5-8. Ролганг (1) / окретни сто са ролнама (2).



Слика 5-9. Ролганг (1) / подизни сто са ролнама (2)

5.7. Увод у анализу

Технолошки поцес је постављен низом операција и њиховим редоследом да би на најповољнији начин произвео жељени асортиман производа (материјала) у захтеваним количинама и у неком оптималном операциониом времену. Поступак израде показује како ће да се направи дата позиција и даје основне податке за анализирање кретања материјала.

Евидентно је да кретање материјала проузрокује знатне трошкове, тако да би основни захтев у ефикасности извођења овог процеса био елиминисање свих непотребних кретања, а посебно оних која нису директно везана за извођење операција процеса. Посебно треба напоменути, да при анализи проблема кретања материјала методе за реализацију овог процеса се изводе из модела технолошких операција којима служе и не треба да им се намећу.

Пре него што почне да се тражи решење, проблем се мора дефинисати спецификацијом обима активности које ће се студирати и предмета студирања (одређивања граница система). Дефинисање проблема (**први корак**), често може да буде теже него његово решење, али без јасне дефиниције решење само по себи може да буде погрешно. **Други корак** у решавању проблема је директно посматрање свих чињеница које се односе на проблем, а то је да се прецизно дефинише шта се сада чини (постојеће стање код реконструкције или анализа научних и стручних резултата, праћење литературе и рада сличних изведених система код пројектовања нових погона). **Трећи корак** обухвата детаљно испитивање ових чињеница критички, непристрасно и на прави начин (према степену важности). Искуство показује да се најбољи резултати добијају када се процес посматра уназад, тј. од готовог производа до репроматеријала. Сврха овог испитивања је да се види шта је учињено и зашто, где и по ком редоследу. Овај систематски прилаз прикупљања и анализе свих чињеница и разматрања свих могућих алтернатива треба да разјасни која су кретања материјала у ствари неопходна, тако да представља битан део аналитичког прилаза у решавању проблема.

Mogensen /1961/ је развио елементарни упитник који обухвата критичко испитивање захтева (кроз серију питања) у свим фазама производње. Упитник обухвата четири корака:

- **Елиминисање.** Потребно је испитати да ли су операција или активност неопходни или се могу изоставити.
- **Комбиновање.** Да ли се могу дата операција или активност комбиновати, односно ујединити са неком другом операцијом или акцијом.
- **Промена редоследа.** Обухвата промену редоследа послова, места, уређаја или човека који изводи дату операцију или активност.
- **Побољшање.** Да ли може метод извођења операција или активности или њихова опрема да се побољшају.

Четврти корак обухвата анализу кретања материјала и треба да омогући изналажење најефикаснијих токова материјала који се креће кроз неопходне фазе обухваћеног процеса, значи редослед кретања и интензитет, односно величину ових кретања.

5. Кретање материјала

Анализа редоследа кретања треба да омогући успостављање односа између појединих операција и активности, а величина кретања (или интензитет тока) је основна мера релативне важности сваког пута. Један ефикасан ток значи да ће се материјал кретати прогресивно кроз процес стално напредујући према завршној обради, без непотребних скретања, обилажења или повратних путева (супротан ток).

При анализи кретања материјала често се превиде токови отпадних материјала и шкарта које треба обавезно укључити у разматрање. У појединим случајевима ови токови често представљају већи део проблема манипулације материјалом у оквиру датог layout-а (нпр. у пресерају отпадни материјал износи 20 до 30 %). Овај отпадни материјал је често неподесан за манипулацију због његових нових или променљивих карактеристика. Може да буде прљав оштар или опасан, често захтевајући сасвим различити систем за транспорт и манипулацију од онога који је предвиђен за материјал или компоненте које се допремају.

Детаљна анализа кретања материјала посебно је значајна увек када је кретање материјала главни део поцеса, када је материјал велике масе или габарита, када се преносе велике количине, или када су претоварни, транспортни и манипулативни трошкови велики у поређењу са трошковима операција, складиштења или контроле.

Пети корак обухвата избор транспортних средстава и помоћних уређаја за транспорт и манипулацију и представља последњи степен планирања спроведен у циљу избора система или побољшања постојећих метода манипулације и транспорта.

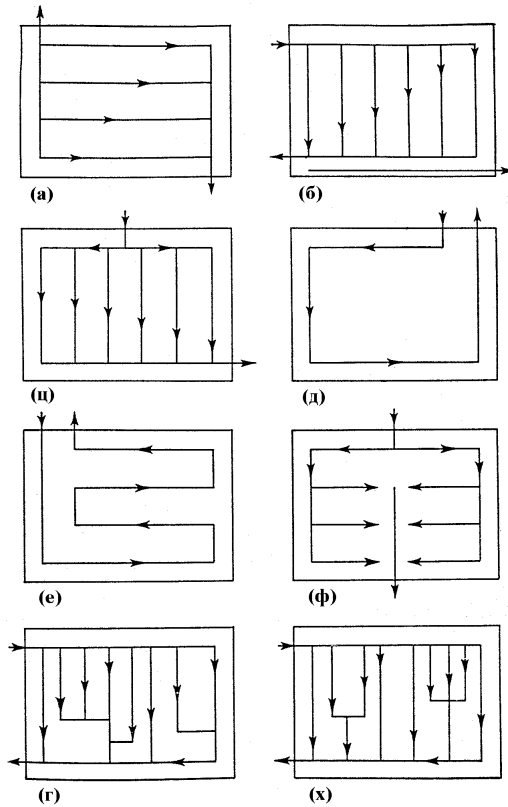
5.8. Модели за анализу кретања материјала

У овом поглављу ће се дати преглед основних описно-аналогних модела и навешће се поједини примери примене тих модела у пројектантској пракси.

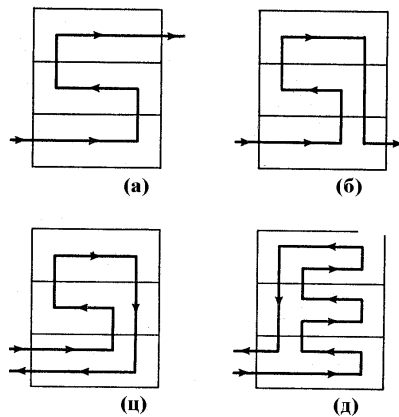
5.8.1. Шема кретања материјала

Представља графички изражен пут и смер кретања материјала кроз производни процес од сировине, односно полуфабриката, до готовог производа. Шема кретања материјала може да се развије у један или вишес праваца унутар погона и то у хоризонталном (слика 5-10) или вертикалном (слика 5-11) правцу зависно од захтева технолошког процеса. Постављање ове шеме има велики утицај на облик и величину зграде (приземна или

вишеспратна зграда). Место почетка (улаз у систем) и завршетка (излаз) ове шеме зависи од ситуационог плана, односно од положаја производне јединице у односу на саобраћајнице.



Слика 5-10. Шема кретања материјала у хоризонталном правцу



Слика 5-11. Шема кретања материјала у вертикалном правцу

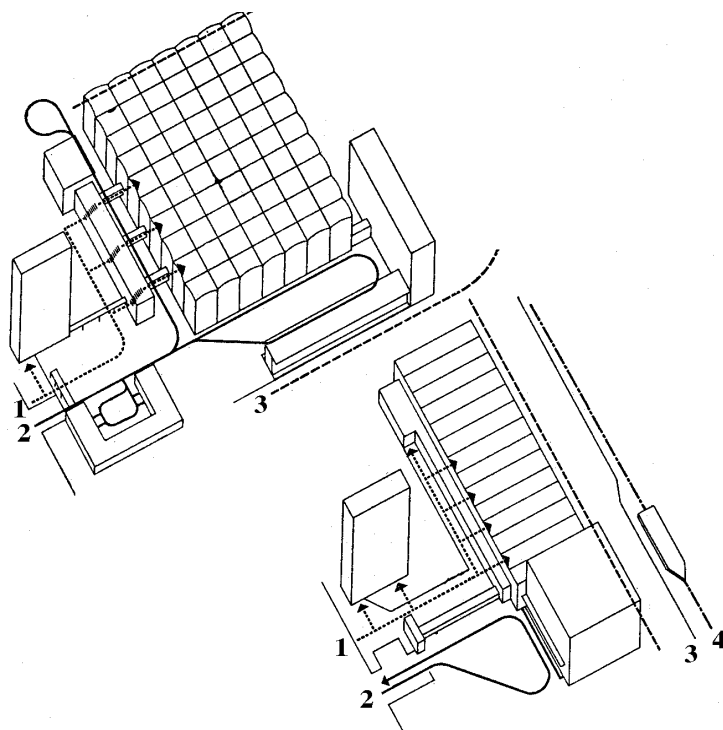
5. Кретање материјала

Шема кретања материјала може да се постави на два начина: као општа која карактерише размештај производних одељења и складишта и као посебна унутар одељења, која карактерише распоред машина и радних места у процесу. При постављању ове шеме треба водити рачуна о следећим факторима који утичу на њен облик и величину:

- да представља најкраћи могући пут материјала кроз процес,
- да има по могућству затворен облик и да иде у једном смеру, без укрштања и повратних кретања, и
- да омогући проширење погона без прекидања главних токова материјала.

Шема кретања даје само графички приказ линије премештања материјала, односно делова, кроз производни процес. При изради пројекта треба комплексно разматрати цео проблем кретања материјала који садржи у себи и временску компоненту. Због тога шема кретања материјала представља једну од полазних тачака при планирању сваког производног постројења.

На слици 5-12 дат је аксонометријски изглед фабрике са шемом кретања запослених (1), теретних возила (2), и железнице (3). Слика 5-13 приказује кретање људи (1), возила (2), железнице (3) и пловила (4).



Слика 5-12 и 5-13. Аксонометријски изглед фабрике са шемом кретања

5.8.2 Блок дијаграм

Сваки елементарни блок овог дијаграма има најчешће значење трансформационог процеса где однос улаза и излаза може да буде дат функцијом трансформације. Овај однос може да буде прост или веома комплексан. Потребно је напоменути да није увек неопходно да се ригорозно математички опише трансформација, већ може једноставно да се опише процес са његовим улазима и излазима.

Природа трансформације у блоку може да обухвати ма који изабрани ниво. Блок представља груписање појединости зависно од наших потреба или сврхе. Тако да, ако студирамо токове материјала у фабрици, сваки процес може да буде представљен једним блоком. Када анализирамо производни систем сваки процес може да буде представљен једним блоком, или блок може да представи све процесе у једном одељењу. Метод блок дијаграма је веома флексибилан и дефинишући ниво агрегације прилагођавамо се хијерархији постојећег система. Конструкција блок дијаграма омогућава развијање веома комплексних описа на ма коме жељеном нивоу, тако да се користи како код пројектовања нових система тако и код анализе постојећих.

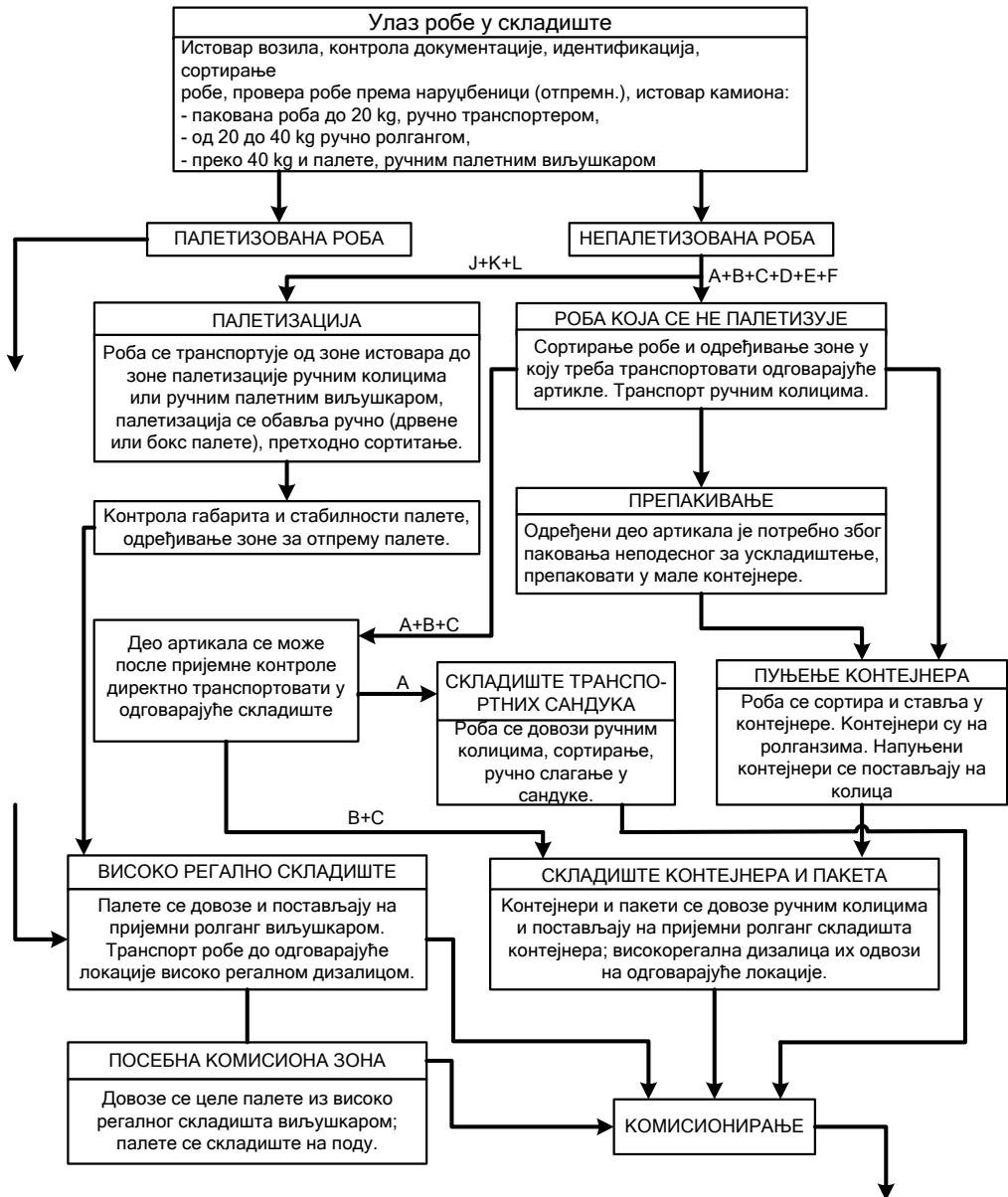
Постоје три врсте елементарних блокова /Buffa 1976/:

- трансформациони блок,
- блок одлучивања, и
- блок повратне спреге.

На слици 5-14, као пример, приказан је део блок дијаграма који је коришћен у току израде идејног решења централизованог складишта једне фабрике у Ваљеву /Зрнић 1981/. Високорегално складиште је предвиђено да опслужује више фабрика. Трансформациони процеси су дати описно.

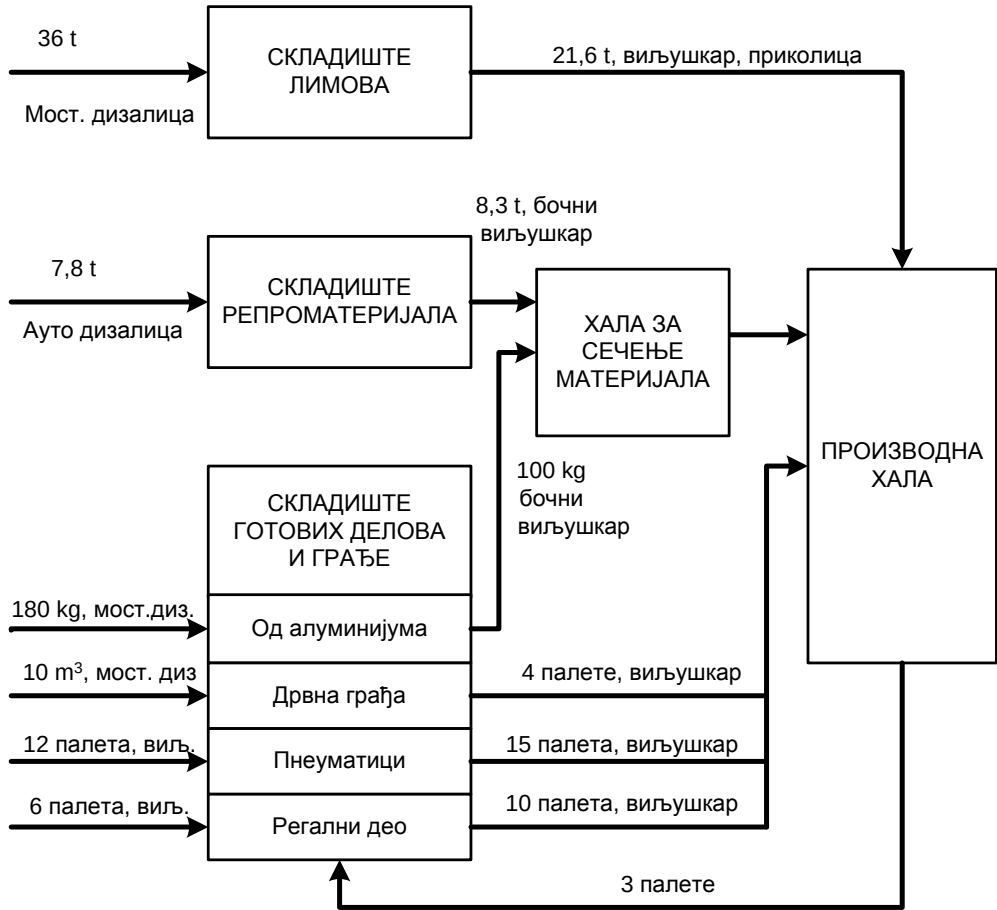
На слици 5-15 дат је блок дијаграм коришћен у пројекту међупогонског транспорта у једној фабрици у Смедеревској Паланци /Зрнић и др. 1985/86/. Идентификоване су три складишне целине, количине материјала који се транспортује и транспортна средства.

5. Кретање материјала



НАПОМЕНА: количине појединих материјала су означене словима А, В, С, ..

Слика 5-14. Блок дијаграм централизованог складишта у Ваљеву

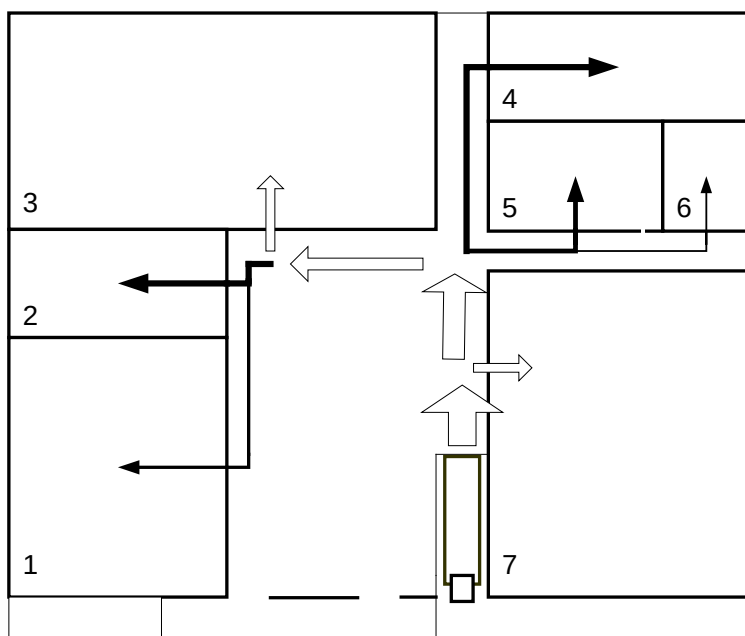


Слика 5-15. Блок дијаграм међупогонског транспорта (фабрика у Смедеревској Паланци)

5.8.3. Дијаграм тока

Дијаграм тока материјала даје шематски приказ главних токова (смер и интензитет). Омогућава да се сагледају укупна кретања у погону (укључујући и отпадне материјале) и да се приближно одреде дужине транспортних путева. Смер кретања се означава стрелицом, а количина материјала који се транспортује у датом правцу се приказује ширином тока у одговарајућој размери.

На слици 5-16 је дат дијаграм тока на коме је означен пријем и транспорт материјала до седам посебних складишних јединица (1 - 7). Количине материјала су приказане ширином стрелица. Складиште је предвиђено за чување опасних и запаљивих материјала /Зрнић 1981/.



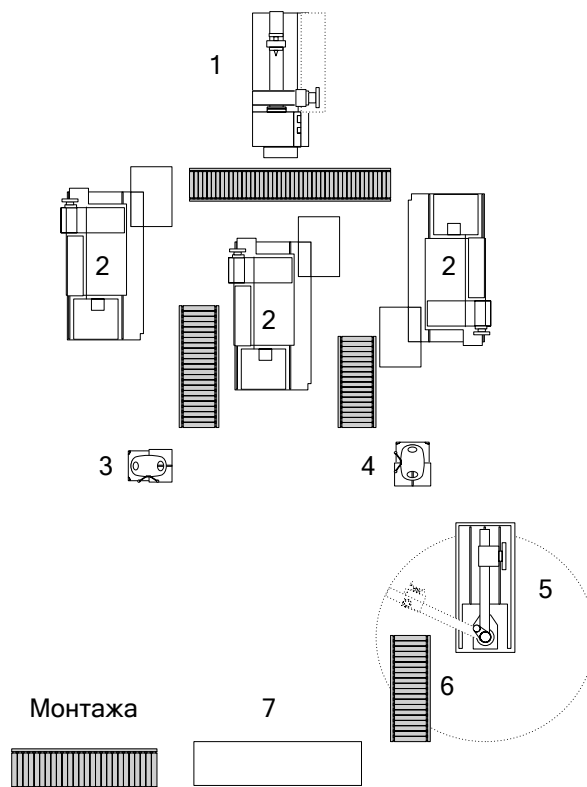
Слика 5-16. Складиште опасних и запаљивих материјала

5.8.4. Табеларни приказ процеса

Поједини аутори /Mallik, Gaudreau 1957/ предлажу да се за израду појединих решења користи таблица која приказује основно кретање производа (слика 5-17). У таблицу се уносе операције, машине и број извршиоца. По потреби се идентификују и количине материјала који се транспортује. Упрошћено решење layout-а за наведени пример је дато на слици 5-18.

Операција	1	2	3	4	5	6	7	
Машине	Струг	Револвер струг	Бушилица	Бушилица	Хориз. Бушилица	Контрола	Одмашћивање	
Радници	1	3	1	1	2	2	2	Монтажа

Слика 5-17. Табеларни приказ основног кретања производа /Mallik, Gaudreau/



Слика 5-18. Упрошћено решење layout-a. /Mallik и Gaudreau 1957/

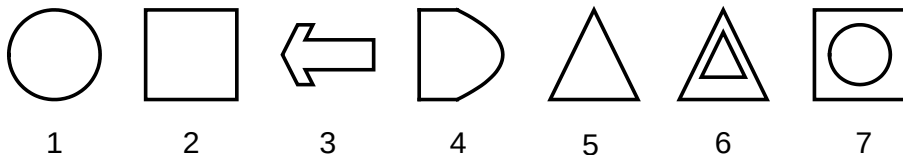
5.8.5. Дијаграм процеса израде

Као што се види из претходних разматрања један од значајнијих фактора у анализи кретања материјала и пројектовању layout-a је просторно приказивање појединих токова кроз процес, тако да се увек подвлачи визуелни аспект анализе. При томе треба нагласити, да систематско испитивање чињеница на погодан начин треба да омогући брзу процену и одређивање шта је учињено и да на прикладан начин покаже шта се предлаже, укључујући када је то могуће и временску компоненту, да би се омогућила синхронизација појединих процеса. У ову сврху се користе различити дијаграми и карте који се примењују зависно од обухваћених активности и жељеног степена детаљисања. За њихову израду се користе стандардни симболи.

Симболе за цртање дијаграма и карти су развили Frank и Lilian Gilberth, а данашњи облик симбола је дефинисао David Porter /стандард ASME 1947, Operation and Flow Process Charts/. Следећи симболи се најчешће примењују (слика 5-19):

5. Кретање материјала

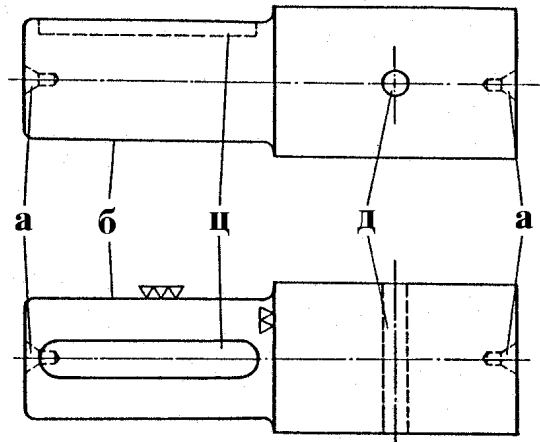
- **Операција (1):** намеран процес на једном објекту који му даје коначно стање (обликовање, обрада, склапање, расклапање; може да означава и операцију претовара при детаљној анализи транспортних активности).
- **Контрола (2):** провера количине или квалитета.
- **Транспорт (3):** кретање једног објекта или материјала са једног места на друго, нормално се искључује кретање које је обухваћено процесом.
- **Застој (4):** застој у процесу до следеће планиране операције, произашао из других околности него што је процес (чекање на неку другу акцију или остатак материјала из његове групе).
- **Складиштење (5):** планирана имобилизација једног објекта или материјала.
- **Међуфазно складиштење (6):** привремено ускладиштење између појединих фаза процеса.
- **Комбиноване активности (7):** активности које се изводе истовремено (пример процесна операција и контрола), приказују се комбинацијом претходних симбола.



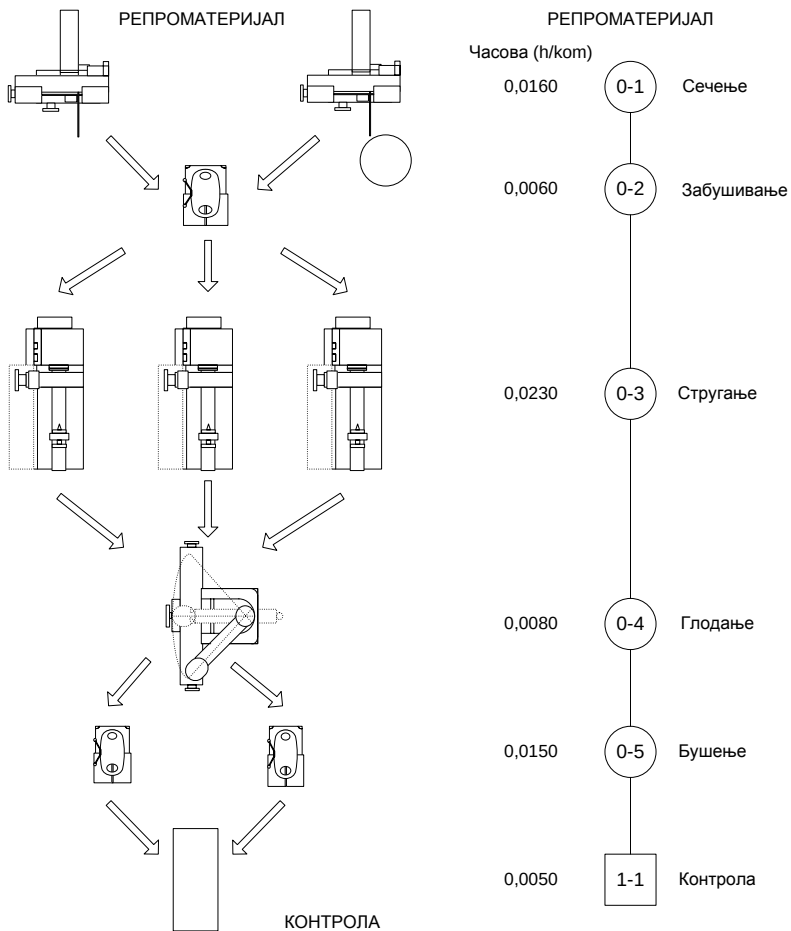
Слика 5-19. Симболи за цртање дијаграма

Дијаграм процеса израде приказује редослед операција и идентификује места контроле производа. Симболи се постављају један за другим на вертикалној линији и показују ток (напредовање) производа. Хоризонталне линије приказују напајање појединих токова компонентама. Операције и контроле се посебно нумеришу полазећи од главног тока (црта се на десној страни дијаграма) све до уливања првог помоћног тока (хоризонтална линија). Број низа се онда преноси на почетак следећег вертикалног тока дуж кога се наставља до тачке везе са главним током. Конструкција дијаграма се даље изводи идући увек са десна на лево. Поред сваког симбола за операцију и контролу се уписује време извођења датог процеса и опис активности. У дијаграму се евидентира укупни број операција и места за контролу производа, даје се укупно време процеса и време контроле.

На слици 5-20 дат је изглед једне осовинице, а на слици 5-21 дијаграм процеса израде исте осовинице са датим временима за извођење појединих операција и layout-ом. На слици 5-22 је приказано коришћење дијаграма процеса израде у монтажи. Дат је layout једне мале фабрике. Главна монтажна линија је означена са (А) а бочне линије монтаже са (SA). На слици 5-23 дат је пример примене овог дијаграма у решавању проблема производње и паковања ампула од стакла.

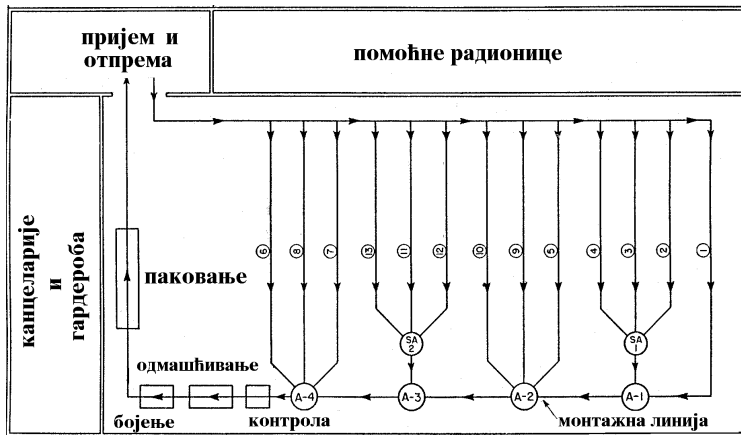


Слика 5-20. Цртеж осовинице за коју је дат дијаграм процеса израде

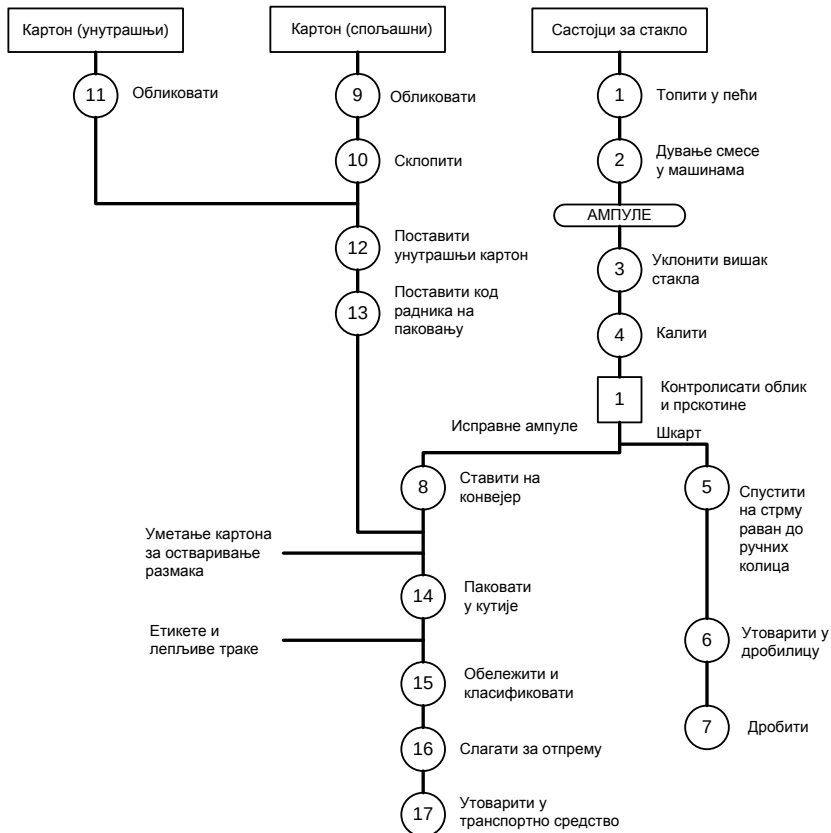


Слика 5-21. Дијаграм процеса израде осовинице са датим временима операција.

5. Кретање материјала



Слика 5-22. Дијаграм процеса монтаже једне мале фабрике.
Главна монтажна линија (A), бочне линије монтаже (SA)

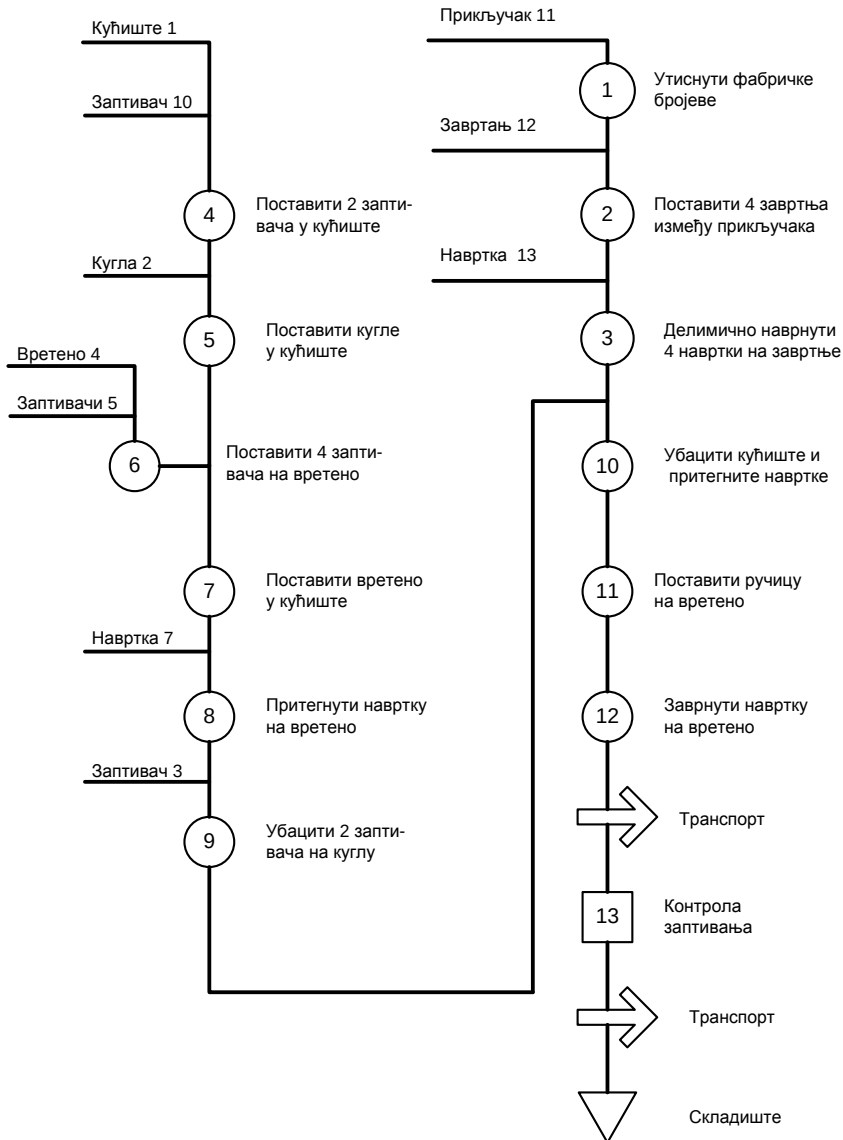


Резултат, укупно:
- операција 17; укупно време операција $t_o =$
- контрола 1; укупно време за контролу $t_k =$

Слика 5-23. Дијаграм процеса израде за производњу и паковање ампула од стакла

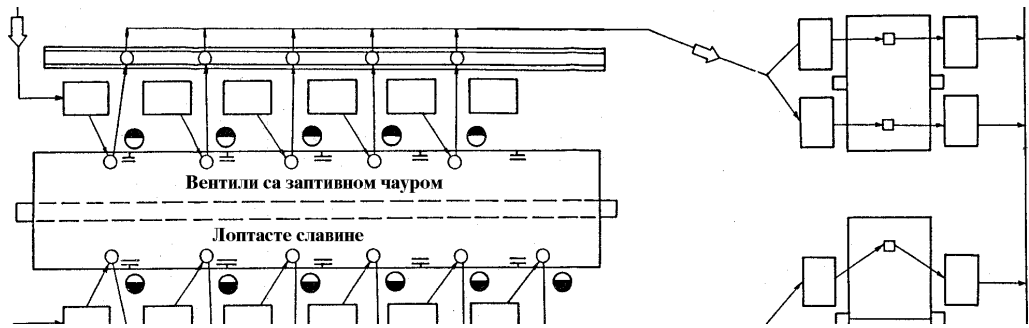
5.8.6. Дијаграм кретања материјала

Дијаграм кретања материјала се користи када је потребно детаљније описати поједине активности. Поред операција процеса и контроле прати и друге активности: транспорт, складиштење, застоје итд. Користећи симболе за ове активности, формира се на исти начин као и дијаграм процеса израде. На слици 5-24 дат је дијаграм кретања материјала за монтажу лоптастих славина, а на слици 5-25, део истог дијаграма уцртан у layout.



Слика 5-24. Дијаграм кретања материјала за монтажу лоптастих славина

5. Кретање материјала



Слика 5-25. Део дијаграма процеса монтаже лоптастих славина уцртан у layout

5.8.7. Дијаграм процеса израде за више производа

Када је потребно анализирати већи број производа (обично 5 - 10) користи се дијаграм процеса израде за више производа (слика 5-26) /Muther 1974/. У првој колони се налазе операције, а у заглављу производи или позиције (А - Е) обухваћени процесом. Пут сваке позиције је одређен помоћу претходно идентификованих операција. Пошто је основни циљ layout-а да се добије прогресиван ток са минимумом повратних путева и да се поставе близу операције између којих постоји највећи интензитет тока, мењамо положај појединих операција све док не добијемо оптимални распоред.

Вредновање алтернатива може да се изведе усвајајући систем бодовања:

- када операције иду једна за другом (+2 бода)
- када се прескочи једна операција (+1 бод), нпр. операција 5 и 6 за производ А,
- када се прескочи више операција (0 бодова), нпр. операције 1 и 2 за производ Б,
- када се производ враћа на претходну операцију (-1 бод), нпр. операције 4 и 5 за производ Д, и
- када повратна траса прелази више од једне операције (-3 бода), нпр. Операције 2 и 3 за производ Д.

5.8.8. Карта тока материјала

Карта тока представља надградњу дијаграма кретања материјала и омогућава детаљну анализу појединих токова. Укључујући у разматрање времена свих активности, растојања између појединих локација (транспортни пут), број извршилаца и опрему која се користи за транспорт. На слици 5-27 приказана је карта тока за анализу кретања материјала.



Слика 5-26. Дијаграм процеса израде за више производа

Врста посла		КАРТА ТОКА МАТЕРИЈАЛА				Датум: _____							
☒ Постојећа метода ☐ Предложена метода						Сниматељ: _____							
						Лист бр. _____							
Операција	Активности	Време	Расто- јање	Анализа Зашто?				Примедбе	Начин деловања				
				Шта?	Где?	Када?	Ко?		Како?	Елеминс.	Комбинов.	Пром. редосл.	Упростити
Складиште	○ ⇒ □ ▽ ▽	8:10	—										
Прегл. докум.	○ ⇒ □ ▽ ▽	8:33	—					X		X		X	
Чекање	○ ⇒ □ ▽ ▽	8:45	—										
Утовар	○ ⇒ □ ▽ ▽	9:16	20										
Транспорт	○ ⇒ □ ▽ ▽	9:19	130										
Обрада	○ ⇒ □ ▽ ▽	9:40	—			X					X		
Контрола	○ ⇒ □ ▽ ▽	9:47	—										
Паковање	○ ⇒ □ ▽ ▽	10:03	12										
Складиште	○ ⇒ □ ▽ ▽	10:15	—										

Слика 5-27. Карта тока материјала

5.8.9. Матрица (карта) ОД - ДО

Када се анализира кретање великог броја различитих производа или позиција користи се матрица **од - до**. Пошто је примена ове матрице детаљно објашњена у поглављу 4, овде ће се навести пример који треба да укаже на неке могућности њеног коришћења. Модификоване матрице садрже поред рубрика које су уобичајене у литератури и елементе који их допуњују и дају целовитији приказ система. Примењене су у анализи транспортно-манипулативног система железаре у Смедереву.

Коришћене су две матрице које се узајамно допуњују. Прва која даје квантитативне везе између пријема, претоварних места, производних јединица и отпреме и друга која даје везу транспортних средстава и одговарајућих локација као и дужину транспортних путева. Карте садрже поред рубрика које су уобичајене у литератури и елементе који их допуњују и дају целовитији приказ система. Прва карта обухвата следеће елементе:

- коришћење поља велике дојагонале, односно поља са ознаком A_{ij} , $i = j = 1, 2, \dots, n$, у поља су унешени подаци о количинама локације,
- критичне везе између локација и уска грла за локацију посебно су означени на карти,

Увођењем додатних елемената карта **од - до** даје низ података аналитичару:

- количине материјала које се транспортују између појединих локација,
- приказ претоварних капацитета, као и годишњи промет на тим локацијама,
- истицање уских грла за складишне локације,
- приоритет проблема који треба решавати.

Друга матрица која даје податке о расположивој механизацији модификована је у следећем:

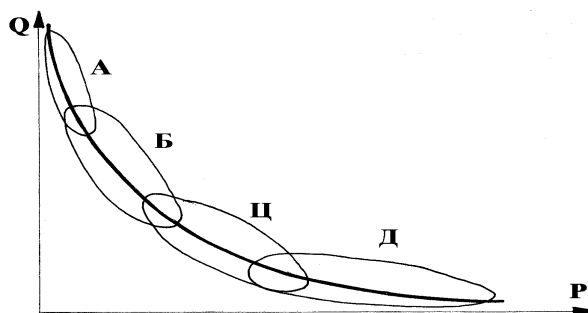
- у пољу везе између локација наводи се врста транспортних средстава и дужина транспортних путева за поједина транспортна средства, и
- посебно су означена уска грла у транспорту.

5.9. Поступак R. Muther-a

Један од проблема са којима се пројектант сусреће је да зна коју методу за анализу кретања материјала треба да примени у датој ситуацији. Поступак избора методе за анализу кретања који се предлаже /Muther 1961/ почиње анализом **Р - Q** дијаграма. Зависно од асортимана производа и обима производње (број позиција и њихове количине), предлаже се следећи избор метода (слика 5-28):

- За један или неколико стандардизованих производа или позиција употребљава се дијаграм процеса израде или дијаграм кретања материјала (А).
- За неколико производа или позиција (5 - 10) употребљава се дијаграм процеса израде за више производа (Б).
- За већи број производа или позиција (средњи део **Р - Q** дијаграма) потребно је оформити групе сличних делова (према маси, габариту, количини итд.), за сваку групу изабрати производ представник и зависно од њиховог броја применити анализу као у 1 или 2 (Ц).
- За много различитих производа или позиција употребљава се матрица од - до (Д).

Поступак R. Muther-a треба да послужи само као оријентација и пројектант у свакој посебној ситуацији треба да изабере одговарајућу методу.



Слика 5-28. Избор методе за анализу кретања

6. УНУТРАШЊИ ТРАНСПОРТ

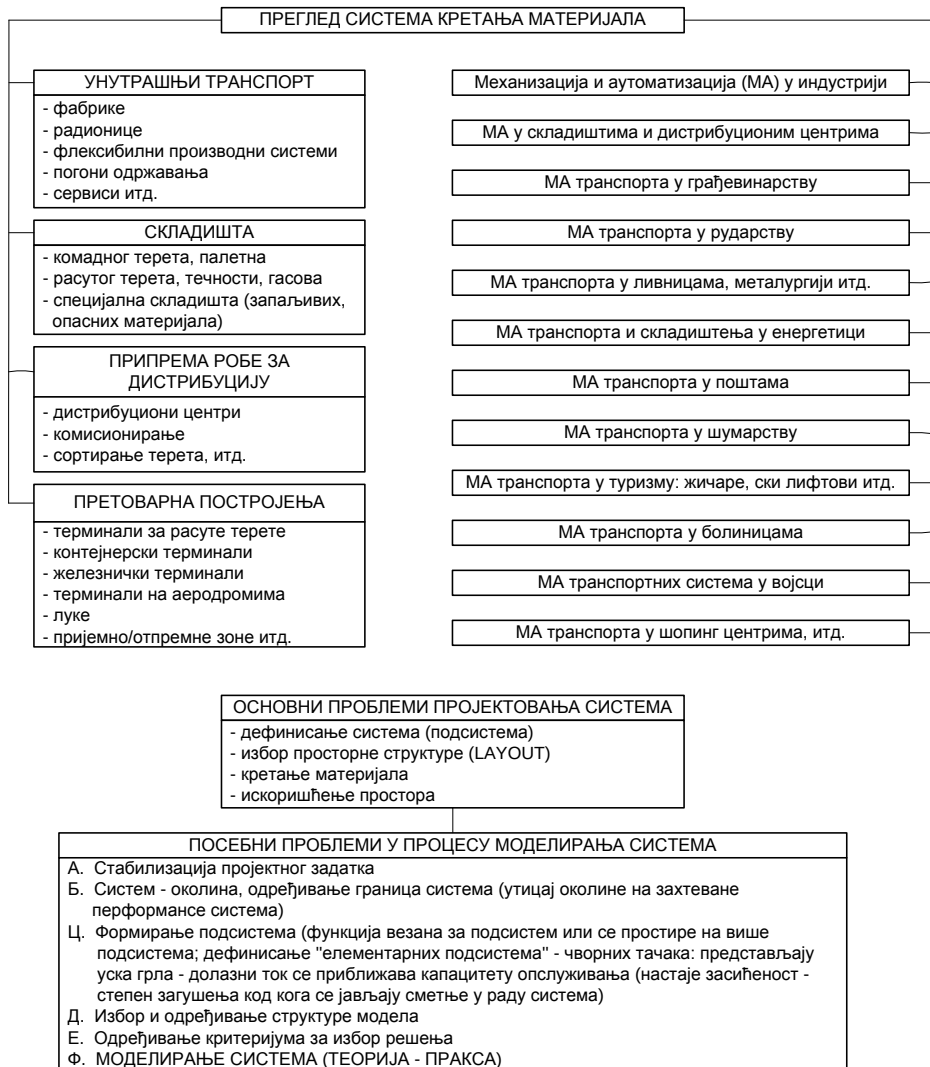
6.1. Увод

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 (масе и запремине),

- 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.

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,

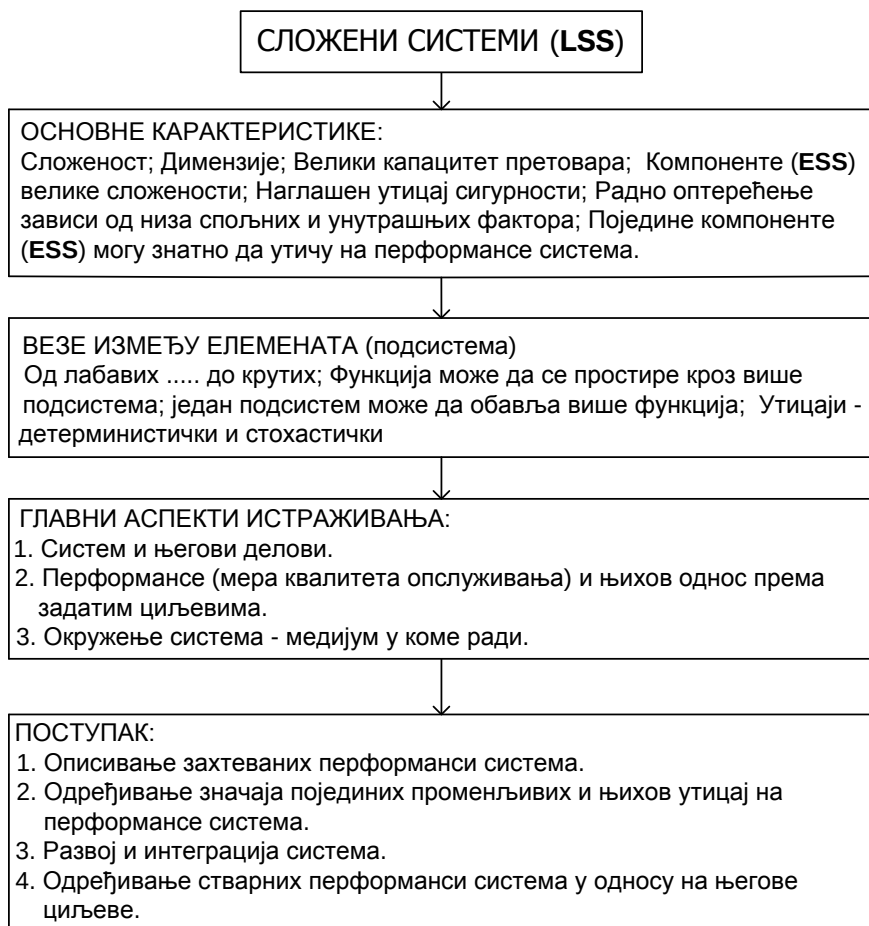
Karlplus 1979, Зрнић 1979, 1980, 1986, 1995, 1996a, 1996b, 1997, Зрнић и др. 1999, Зрнић и Јовановић 1999, ten Hompel, Schmidt 2007/.

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

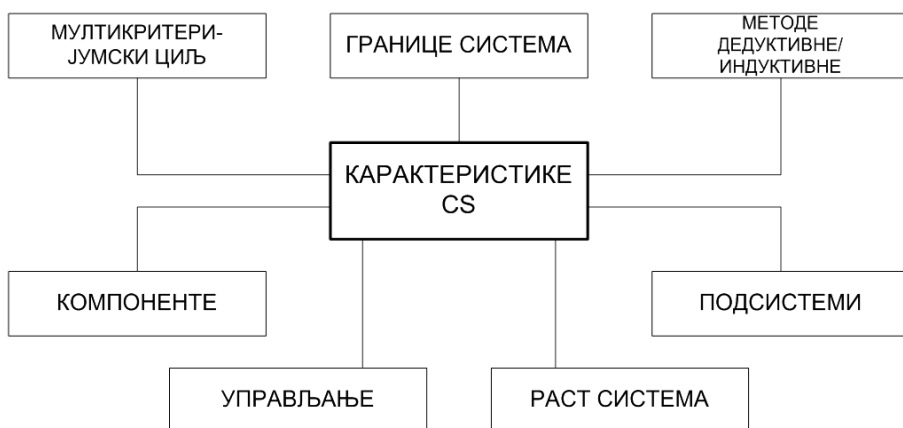
6. Унутрашњи транспорт

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/.

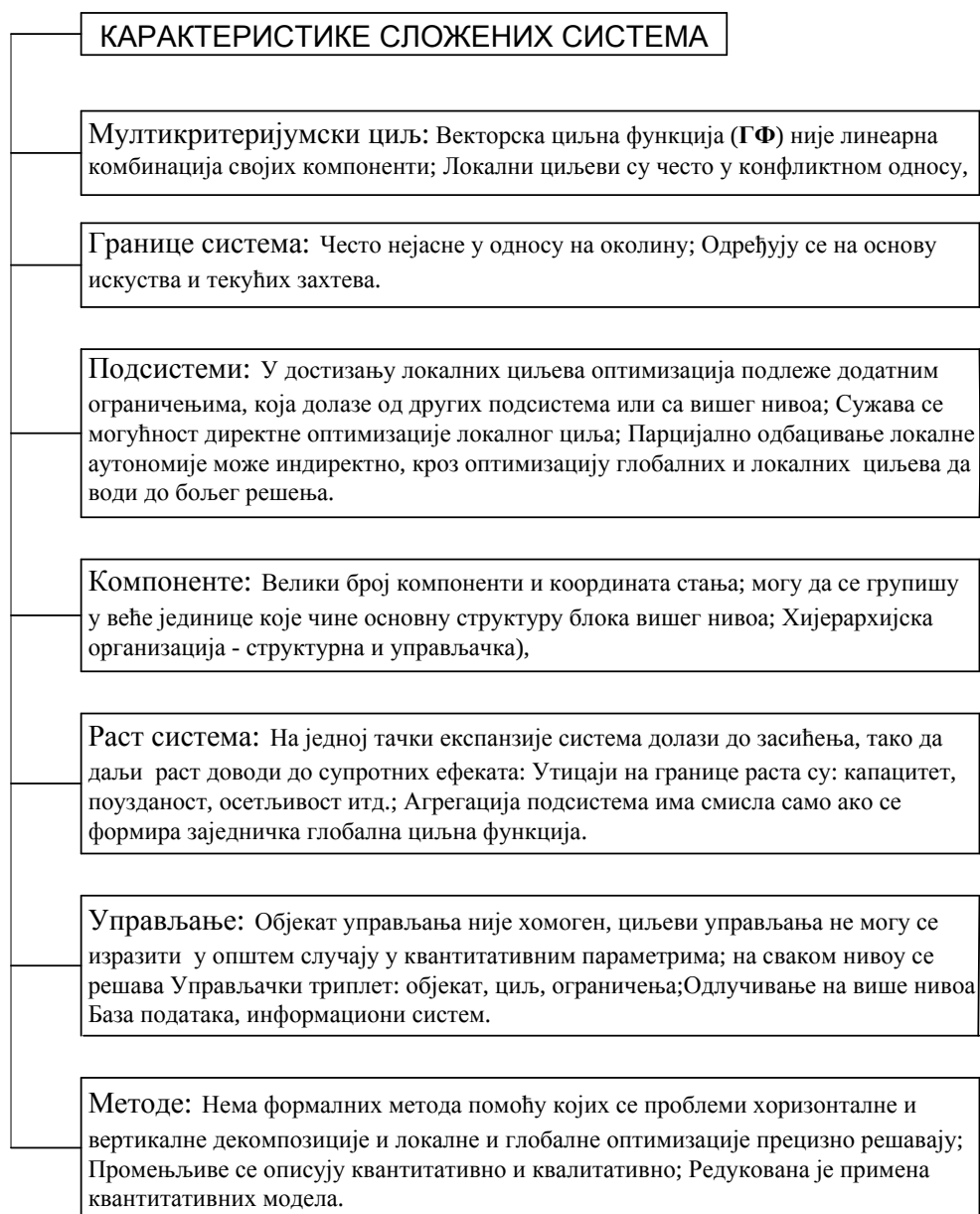
Основни проблеми ових система се састоје од: дефинисања система (подсистема), формирања layout-a, токова материјала и ефикасности простора. Layout представља посебан проблем код пројектовања радионица (сложени технолошки захтеви, потребна флексибилност, учесталост транспортних захтева). Код пројектовања 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/∞)

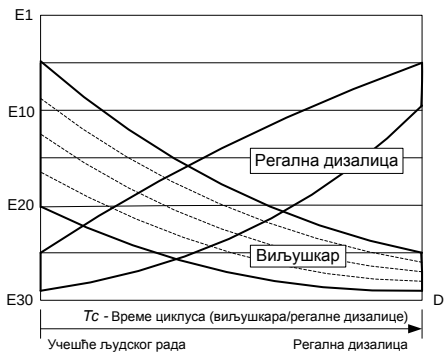
Ситуације настају када постаје прилично сложено да се проблем моделира аналитички, или, чак и ако математички модели могу да се конструишу, али доступна техника није погодна за решавање насталих модела. У таквим случајевима, било би неопходно да се прибегне симулационом моделирању /Зрнић 1978, 1979, 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:

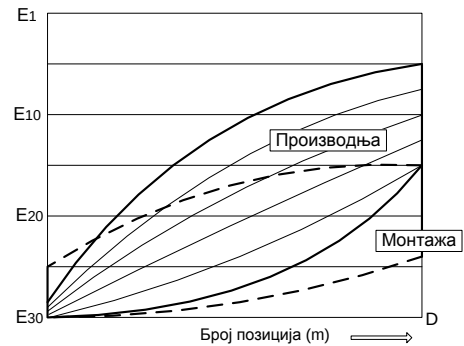
- **општи** за избор алтернатива, анализу концепције и стратегије и предходно одређивање капацитета; користе се најчешће квалитативна, упоредна вредновања; примењују се аналитички модели или груба симулација (већи степен апстракције), или

6. Унутрашњи транспорт

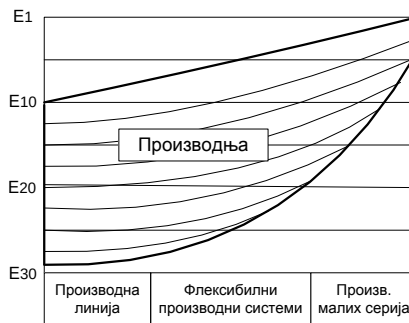
- **детални** за димензионисање машина и постројења, техничко функционисање и оптимизацију система, односно када се развија алгоритам управљања.



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.

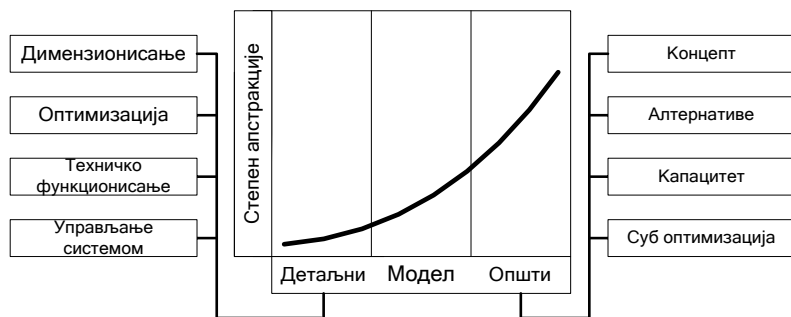
Проблем коме треба посветити посебну пажњу је избор структуре модела и захтева који се јављају при спровођењу процедуре моделирања. При томе типове модела можемо да сврстамо у три групе: **линеарни системи**, **мрежа повезаних система опслуживања** и **комплесна мрежа повезаних система опслуживања**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



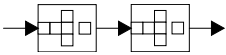
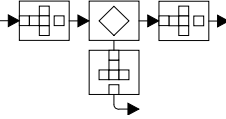
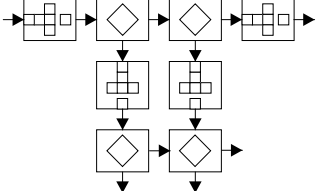
Слика 6-10. Ниво универзалности модела

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, виљушкар, 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	Метод
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 флуктуације 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 подсистем (**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 подсистем 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 подсистема на најповољнији начин. Стога пројектант треба да одреди одговарајући скуп елемената овог подсистема.

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} /Јовановић 2000/, (в. слику 6-16), контејнерске

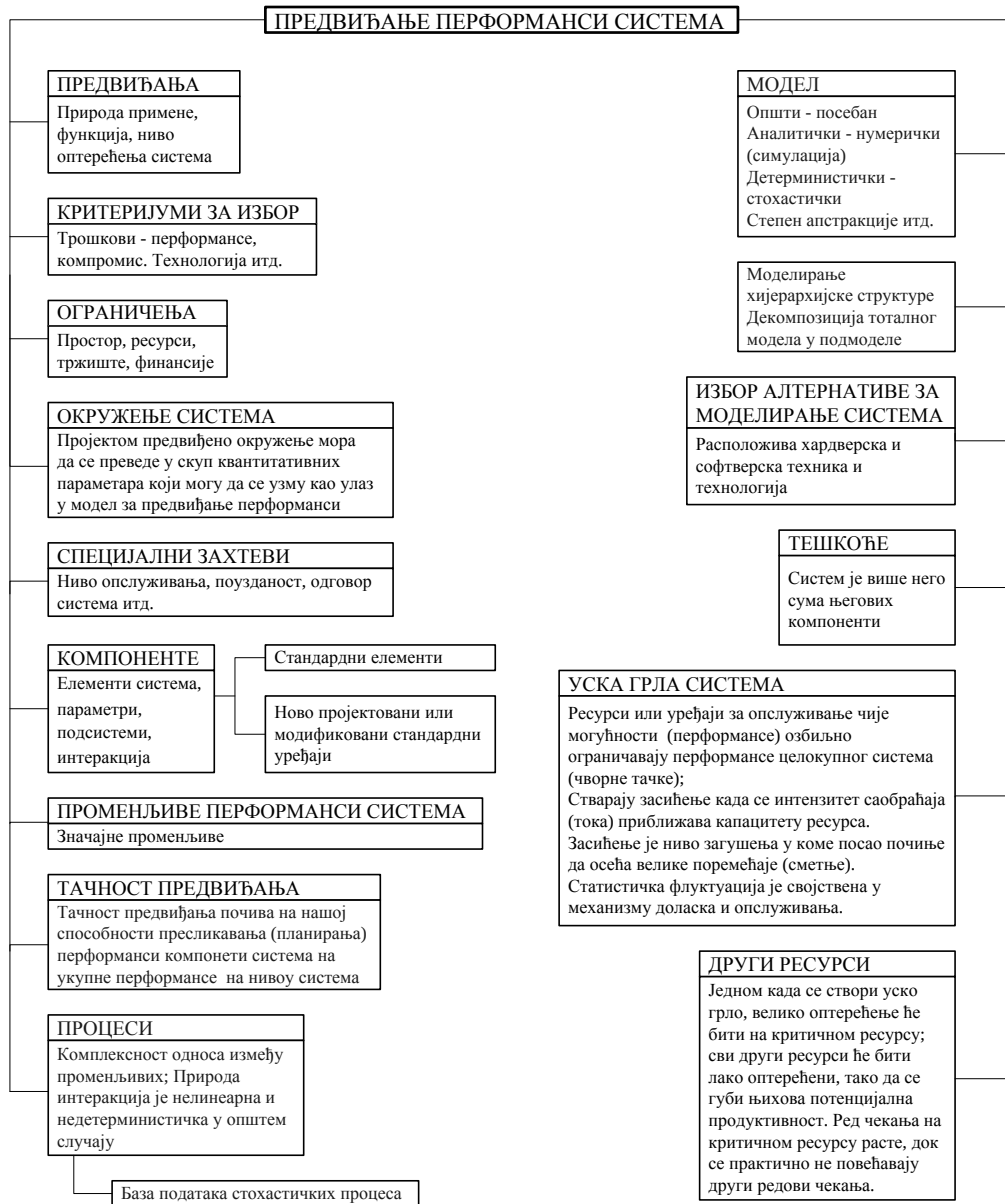
кран на терминалу, утицај одржавања конструкције на продуктивност /Зрнић 2004 и 2005/ итд.

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.).

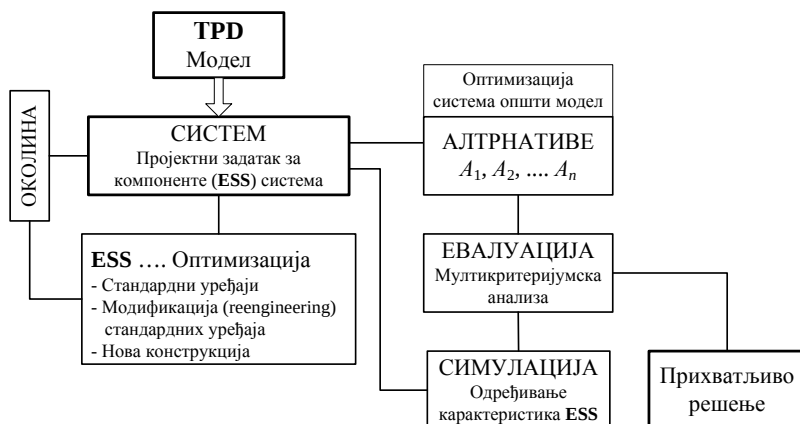
Симулациони модели могу да представе комплексан систем, али не генеришу оптимална решења, они само описују последице датих алтернативних решења. Решењу планираног проблема се прилази експериментално, помоћу итеративног процеса учећи о понашању моделираног система под различитим условима и изоловању чворних 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

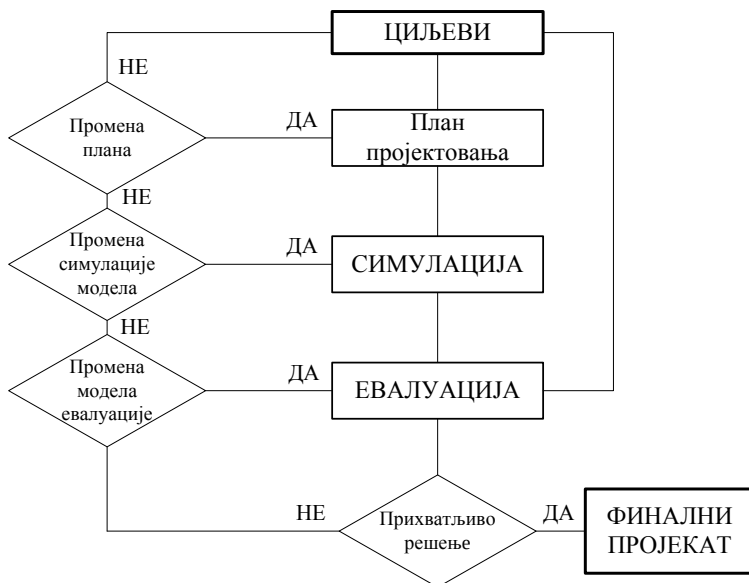


Слика 6-13. Прогнозе перформанси система

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:

$S_i R S_j$ - 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 посистема ($S_1 - S_6$) 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.



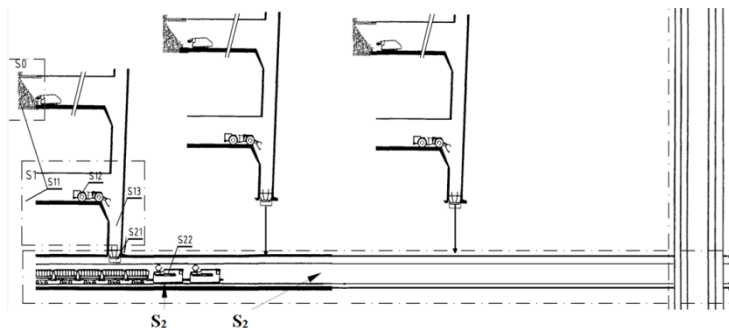
Слика 6-16. Функционална декомпозиција

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.

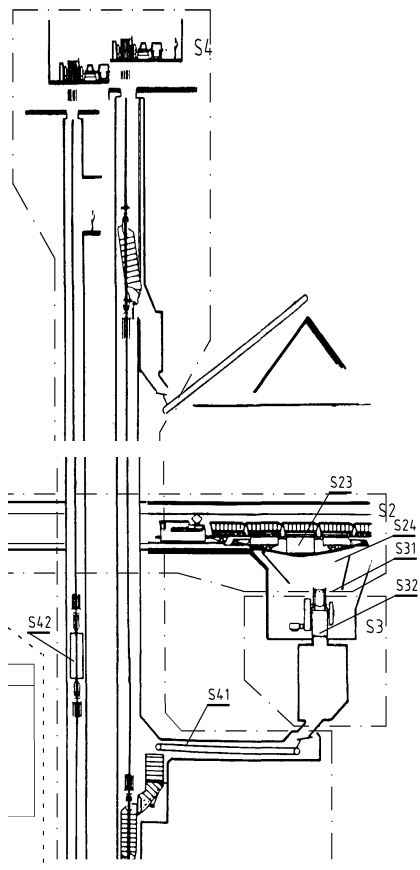
Рудник бакра Бор - подземни коп

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.



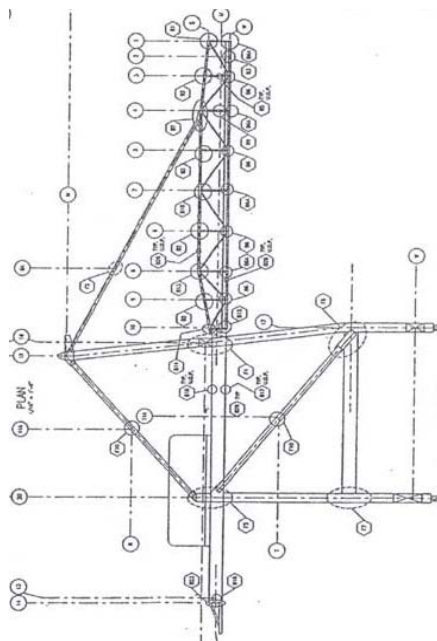
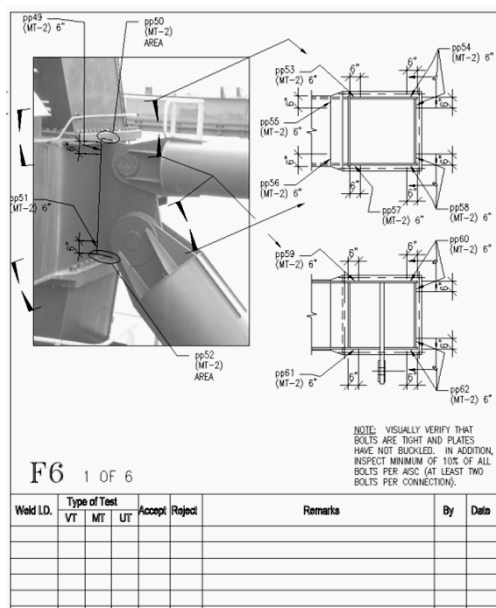
Слика 6-19. Са старењем пукотина расте нелинеарно



Слика 6-20. Пукотина - нога портала

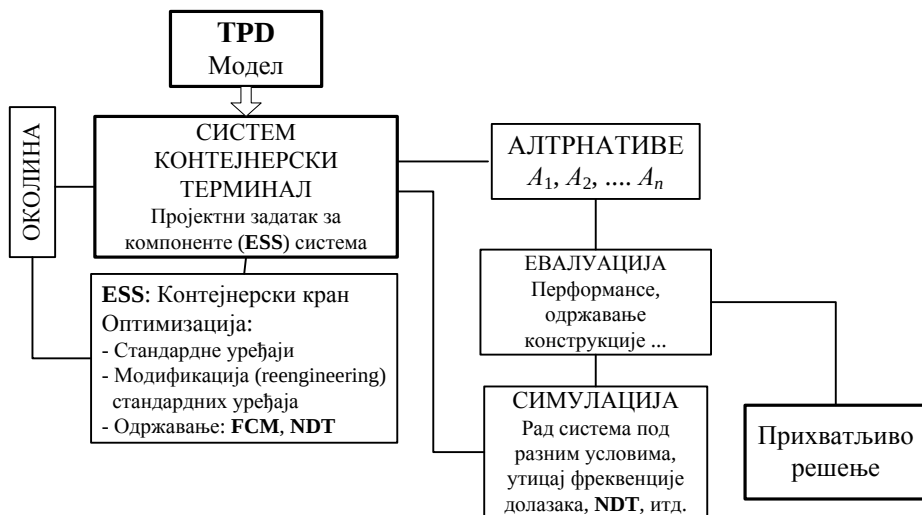
Коначна процена корисног века крана заснована на новом нивоу одржавања **NDT**, даје стварни број пукотина које су се развиле усед замора. На основу стварног броја пукотина, израчунава се (ревидирана) поузданост и релативно кумулативно оштећење. Када се изврши поправка пукотина на конструкцији животни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



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

7. ДИСПОЗИЦИОНИ ПЛАН

Према прорачунатој потребној површини, усвојеном распореду и саставу одељења и појединичних служби, распореду опреме и радних места, водећи рачуна о условима грађевинске изградње саставља се диспозициони план (Layout).

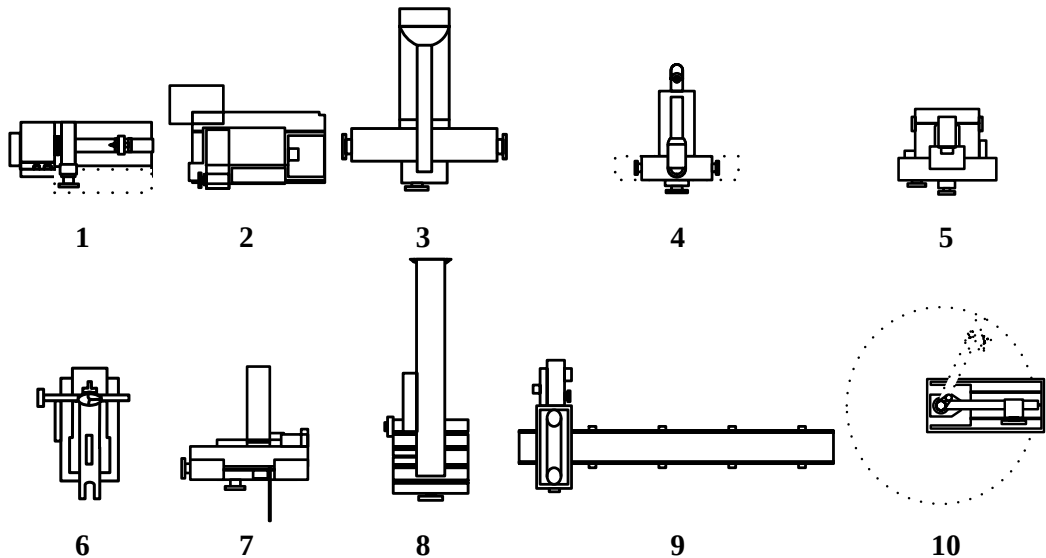
Диспозициони цртежи се састављају по следећем редоследу: црта се основа зграде са спољним зидовима, наноси мрежа стубова са означеним координатама (на x-оси 1, 2, 3, ..., на y-оси А, Б, Ц, ...), и уцртавају стубови са њиховим темељима. Размештају се површине одељења, уцртавају главни пролази, преградни зидови, унутрашња и спољашња врата, колосеци уколико улазе у зграду. На овако припремљеном плану се размештају опрема и радна места, уцртавају дизалице и њихове стазе, као и други уређаји унутрашњег транспорта.

Размештај опреме и радних може да се изведе помоћу шаблона исечених од хартије, тродимензионалних модела или најчешће коришћењем одговарајући програма за рачунар. Габаритне мере опреме узимају се према најистуренијим деловима машина и крајњим истуреним положајима покретних органа. Уколико су габарити темеља већи од машине, онда се на плану уносе мере темеља. Габарити опреме и темеља се узимају из каталога или датотека произвођача усвојене опреме.

Основе се цртају у размери 1:50 или 1:100, а за веома велике погоне 1:200. Попречни и уздужни пресеци зграда дају се у размерама 1:50 или 1:100. Монтажни цртежи се израђују у размери 1:50 и 1:25.

7. Диспозициони план

Преглед основних алатних машина је дат користећи програм Visio 2000, на слици 7-1 (1 - универзални струг, 2 - CNC струг, 3 - портална глодалица, 4 - глодалица, 5 - брусилаца, 6 - рендисаљка, 7 - хоризонтална тестера, 8 - вертикална глодалица, 9 - машина за сечење, 10 - радијална бушилица).



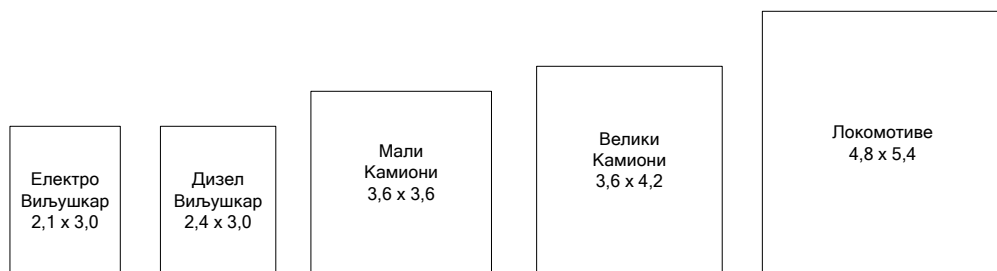
Слика 7-1. Изглед алатних машина

7.1 Саобраћајнице и димензије отвора /Neufert 1976, 2012/

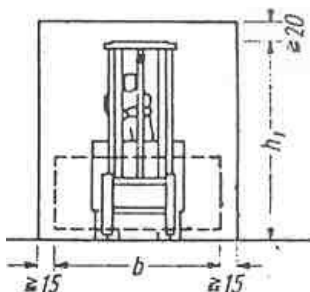
На слици 7-2 дате су најмање дозвољене димензије металних врата, у метрима, за пролаз различитих возила. На слици 7-3, приказане су минималне величине врата, зависно од типа уређаја и димензија терета. Пролази у (m) при опслуживању:

- до 100 људи 1,20 (min. 1,10),
- до 300 људи 1,80 (min. 1,65),
- до 500 људи 2,40 (min. 2,20).

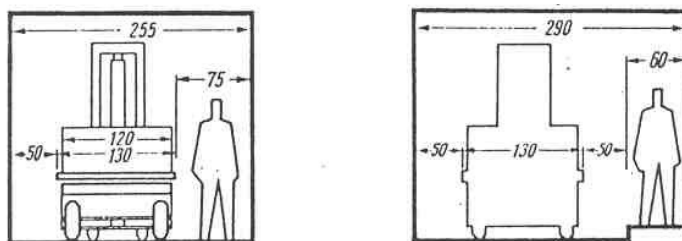
У радним просторијама главни ходници за пролаз људи морају да буду широки најмање 1,5 m, а споредни ходници најмање 1,0 m. Ради лакшег опслуживања и чишћења оруђа за рад морају се обезбедити сигурносни пролази ширине најмање 0,7 m. Слика 7-4 приказује сигурносну ширину пешачке стазе, постављене дуж главне саобраћајнице. На слици 7-5 дате су ширине ходника, зависно од броја особа (са или без терета).



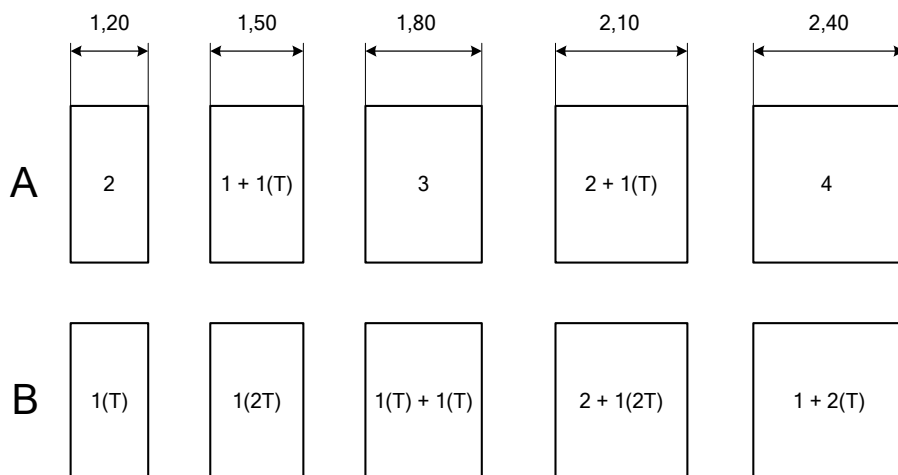
Слика 7-2. Минимална величина врата



Слика 7-3. Минимална величина врата, зависно од типа уређаја



Слика 7-4. Сигурносна ширина пешачке стазе



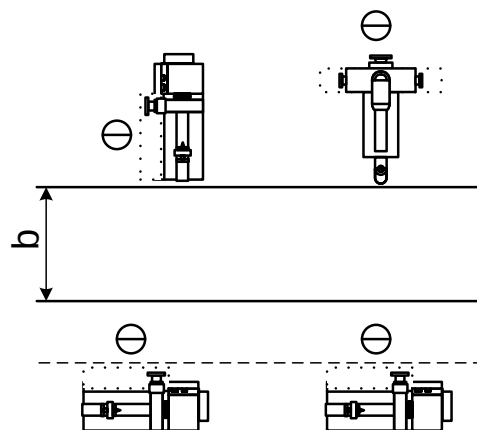
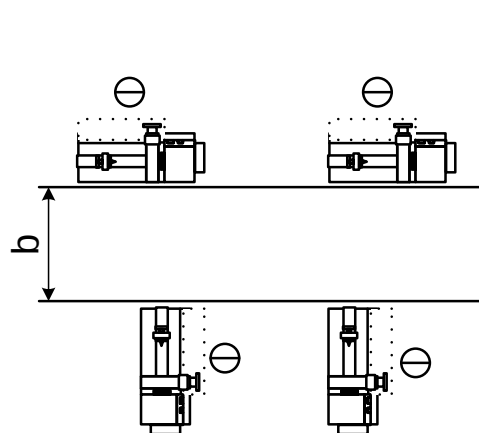
Слика 7-5. Ширине ходника зависно од броја особа, са теретом (Т) или без терета

7. Диспозициони план

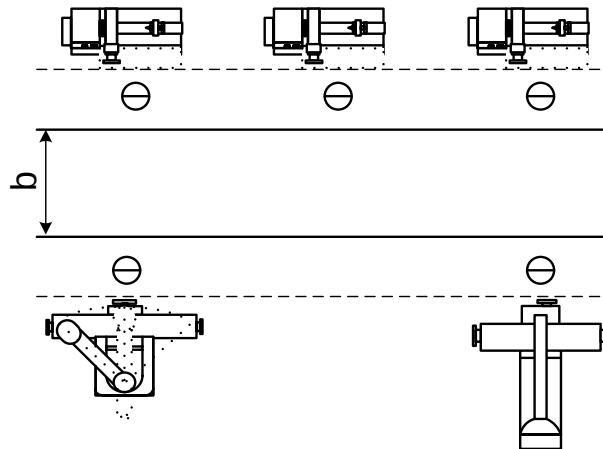
У табlici 7-1 су дате нормe за пролазе између машина. Сва растојања су минимална.

Таблица 7-1.

		Минимална ширина пролаза (mm)		
Примењени транспортни уређаји	Правац кретања	Без зоне за опслуживање опреме (слика 7-6)	Са једном зоном за опслуживање опреме, укључујући радну зону (слика 7-7)	Са две зоне за опслуживање опреме, укључујући радну зону (слика 7-8)
Ручна колица ширине до 700 mm	једносмеран	1.500	1.800	2.300
	двосмеран	2.000	2.300	3.000
Електро колица или виљушкар ширине до 1.200 mm	једносмеран	2.000	2.500	3.000
	двосмеран	3.000	-	-
Ролганзи	једносмеран	700 + ширина ролганга	-	1.600 + ширина ролганга
	двосмеран	700 + ширина ролганга	-	1.600 + ширина ролганга
Висећи конвејери	једносмеран	-	-	1.600 + габарит производа
	двосмеран	-	-	1.600 + двоструки габарит произв.
Напомена: ширина радне зоне 800 mm, претпоставља се да производ не излази из габарита уређаја				



Слика 7-6. Пролаз без зоне за опслуживање Слика 7-7. Пролаз са једном зоном за опслуживање



Слика 7-8. Пролаз са две зоне за опслуживање

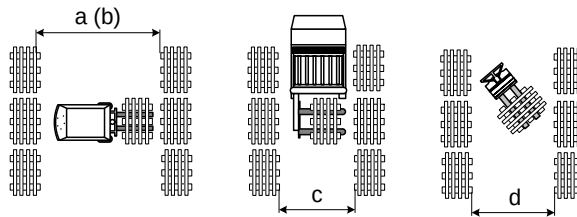
Ширина саобраћајнице потребна за опслуживање радног места или манипулацију робом у складишту зависи од димензије терета, типа и носивости виљушкара. На слици 7-9 приказан је утицај конструкције виљушкара (од класичног виљушкара са 4 точка до виљушкара са окретном главом) на ширину пролаза (a - d), при манипулацији са стандардном европском палетом (800 x 1.200 mm). Поједине вредности за ширине саобраћајница се узимају из проспекта произвођача, а за приближне вредности могу да се користе следећи подаци за минималне вредности (за виљушкар носивости 1 t): $a = 3.400$ mm (виљушкар са 4 точка), $b = 3.200$ mm (виљушкар са 3 точка), $c = 1.700$ mm (виљушкар са окретном главом), $d = 2.300$ mm (виљушкар управљан са пода). На слици 7-10 дата је зависност ширине пролаза, за исти тип виљушкара са 3 точка, од угла постављања палете.

7.2 Постављање опреме

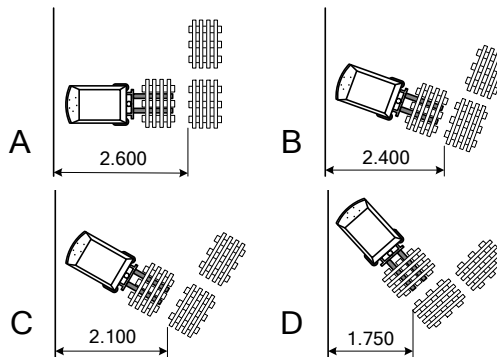
У табlici 7-2 дати су нормативи за постављање алатних машина (в. слике 7-11 до 7-15). Растојања између машина не узимају у обзир површине за постављање уређаја за транспорт, одлагање материјала и делова, алата и прибора поред машина. Величина радне зоне износи минимум 800 mm.

Нормативи за постављање остале производне и помоћне опреме дати су у табlici 7-3.

7. Диспозициони план



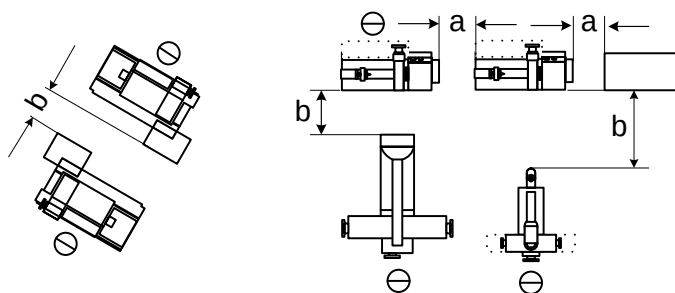
Слика 7-9. Ширина саобраћајнице за виљушкар у складишту



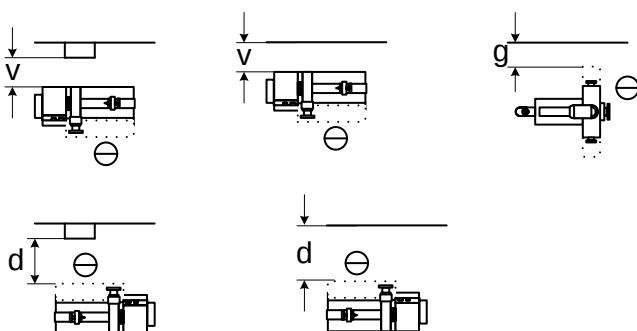
Слика 7-10. Ширина пролаза у зависности од угла постављања палете

Таблица 7-2.

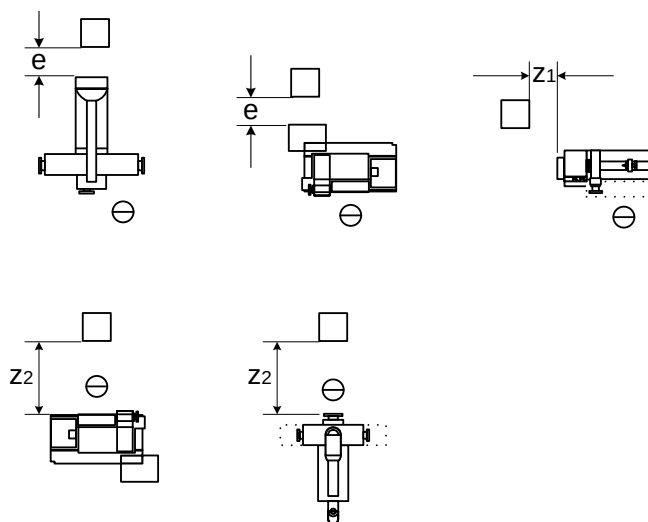
РАСТОЈАЊЕ (mm)		Мале машине габарита до 1.500 x 750 mm	Машины габарита од 1.500 x 750 до 3.500 x 2.000 mm	ВЕЛИКЕ МАШИНЕ	
				Габарита од 3.500 x 2.000 до 5.000 x 3.000 mm	Габарита од 5.000 x 3.000 до 10.000 x 5.000 mm
Слика 7-11	Између машина по дужини (a)	400	600	800	1.200
Слика 7-11	Између задњих страна машина (b)	400	500	700	1.000
Слика 7-12, од зида до	Задње стране машине (v)	400	500	700	800
	Бочне стране машине (g)	400	500	700	800
	Предње стране машине (d)	900	1.200	1.200	1.500
Слика 7-13, од стуба до	Задње стране машине (e)	400	500	700	800
	Бочне стране машине (z ₁)	400	500	600	800
	Предње стране машине (z ₂)	800	900	1.000	1.200
Растојање између машина при постављању управно на пролаз	Вишеверетени аутоматски стругови - слика 7-14 (i)	1.300 - 1.500	1.300 - 1.500	1.300 - 1.500	
	Једновретени аутоматски стругови - слика 7-14 (k)	1.000 - 1.200	1.000 - 1.200	1.000 - 1.200	
	Остале машины - слика 7-15 (l)	800	900	1.200	-
	- слика 7-15 (m)	1.600	1.600	-	-
	Две машине опсужује један радник - слика 7-15 (n)	800	900	-	-
Напомене: - Сва растојања су минимална и дата су од крајњих положаја покретних органа машина - Растојања између машина не узимају у обзир површине за постављање транспортних уређаја и одлагање делова поред машина.					



Слика 7-11. Постављање машина алатки (в. таб. 7-2)

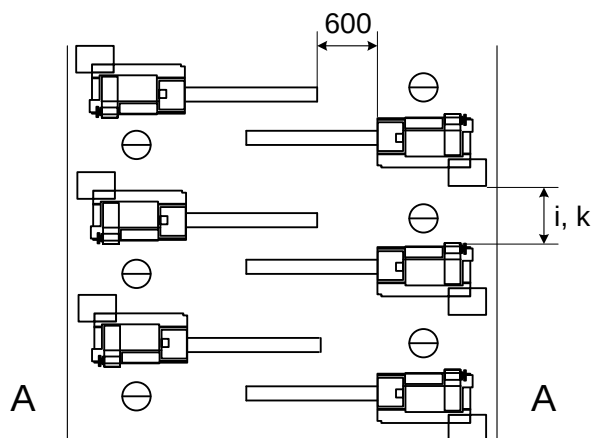


Слика 7-12. Постављање машина алатки (в. таб. 7-2)



Слика 7-13. Постављање машина алатки (в. таб. 7-2)

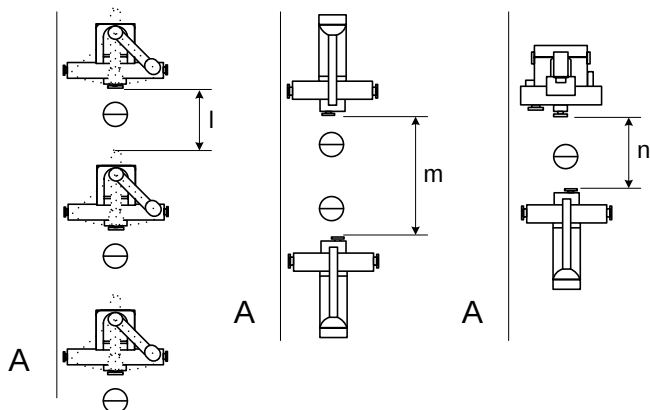
7. Диспозициони план



Слика 7-14. Постављање машина управно на пролаз А (в. таб. 7-2)

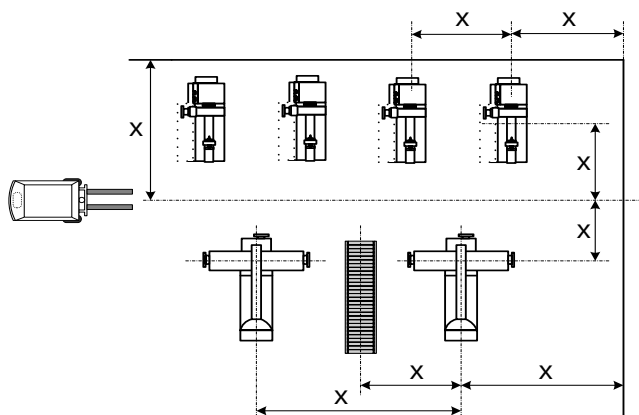
Таблица 7-3.

Габарити опреме у mm	Растојање од зида до		Растојање од стуба до	
	Задње стране машина (mm)	Бочне стране машина (mm)	Задње стране машина (mm)	Бочне стране машина (mm)
до 1.500 x 1.000	600	600	600	600
до 4.000 x 3.500	800	700	800	700
до 8.000 x 6.000	1.000	1.000	800	800
преко 8.000 x 6.000	1.000	1.100	900	900
Пећи, сушаре итд.	1.000	900	1.000	900

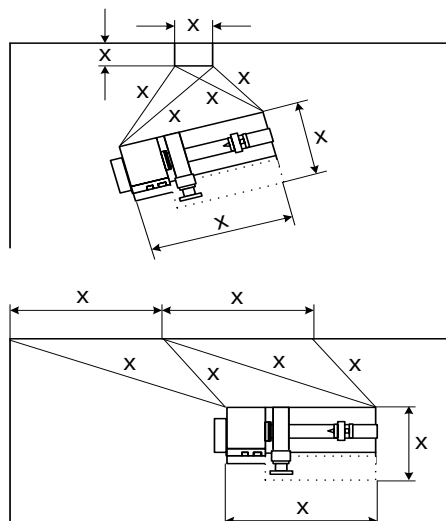


Слика 7-15. Постављање машина у односу на пролаз А (таб. 7-2)

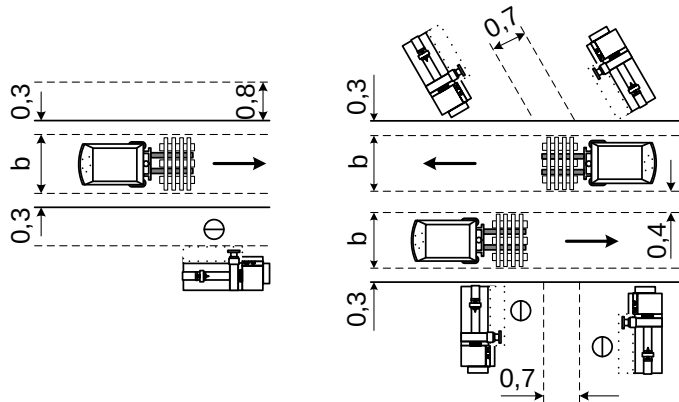
На слици 7-16 дат је пример котирања полажаја поједине опреме у односу на грађевински објекат код идејних пројеката. Слика 7-17 приказује неопходне коте у главном пројекту. Постављање машина дуж стазе за виљушкар је дато на слици 7-18. Извођачки цртежи морају да садрже коте које одређују положај темељних завртњева дате опреме.



Слика 7-16. Пример котирања опреме у идејном пројекту



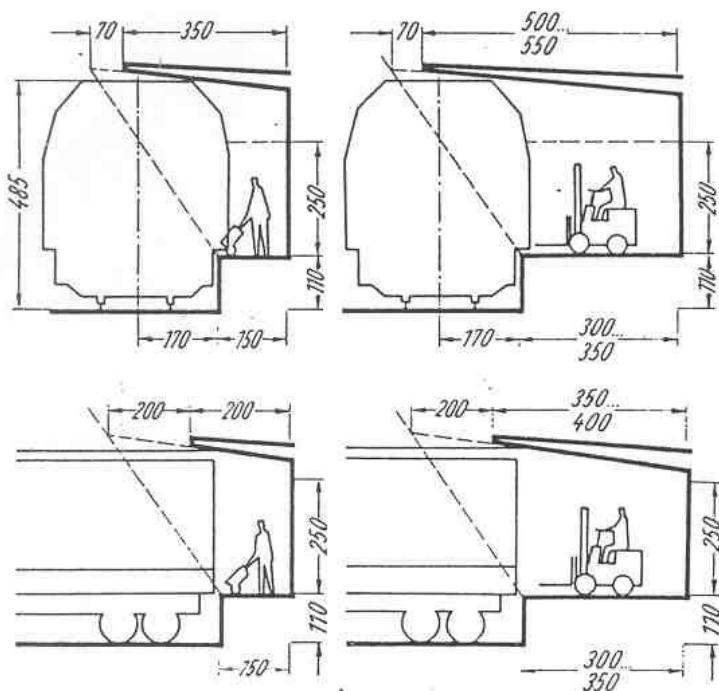
Слика 7-17. Котирање положаја опреме у главном пројекту



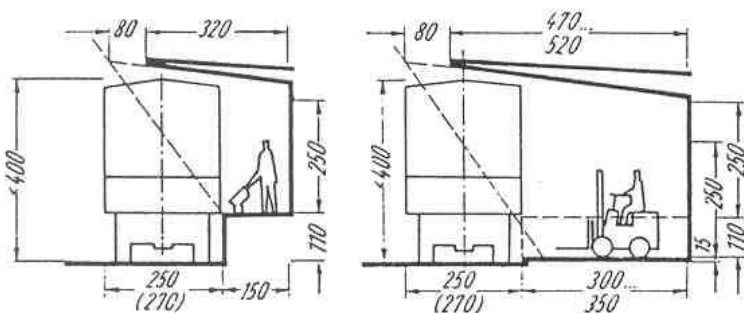
Слика 7-18. Постављање машина дуж стазе за виљушкар

7.3 Пријемно-отпремне рампе

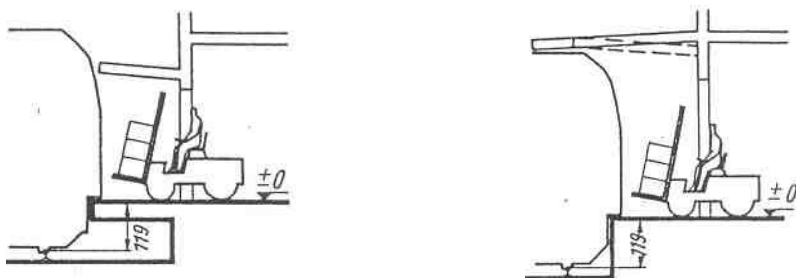
Површине пријемно отпремних рампи, зависно од уређаја спољног транспорта и начина опслуживања, одређују се на основу норми за потребну ширину рампе (в. слике 7-19 до 7-24; мере су дате у см). При неравномерном довозу и одвозу за одређивање потребног места за претовар се користе модели теорије чекања или симулација.



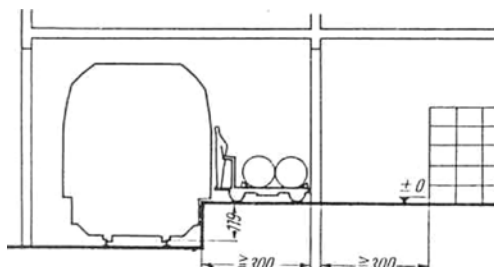
Слика 7-19. Истовар/утовар из вагона и камиона /Neufert 1978/



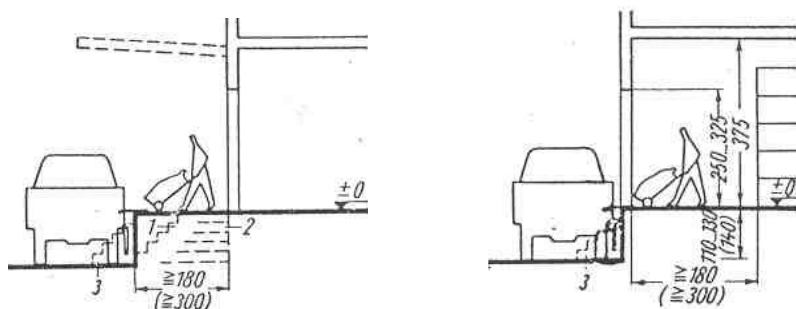
Слика 7-20. Истовар/утовар из камиона са бочне стране /Neufert 1978/



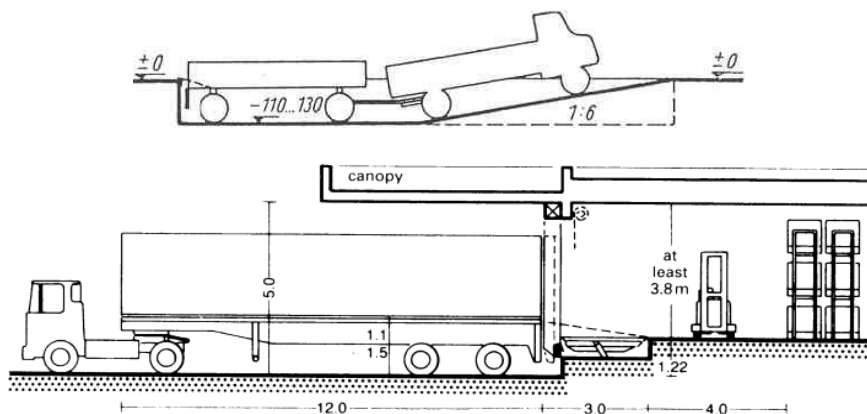
Слика 7-21. Истовар/утовар из вагона



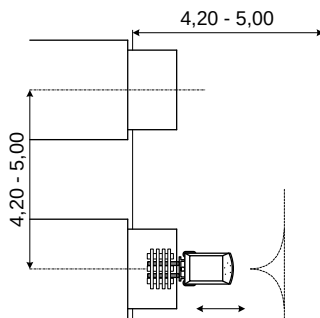
Слика 7-22. Истовар/утовар помоћу електро колица



Слика 7-23. Ручни истовар/утовар малих камиона /Neufert 1978/



Слика 7-24. Прилазна рампа са нагибом (1:6) и без нагиба /Neufert 2012/



Слика 7-25. Растојање између пријемних рампи

7.4. Главне саобраћајнице и помоћне површине

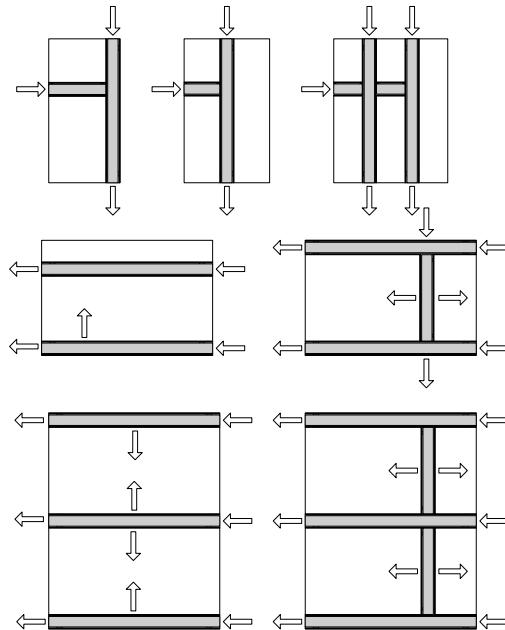
На слици 7-26 приказани су положаји главних саобраћајница у хали. Наведени основни токови кретања материјала и људи треба да помогну при избору рационалног решења распореда опреме у погону.

Површине одељења општинских служби и санитарних просторија обухватају (дају се оријентациони подаци пошто овај део пројекта решавају архитекте):

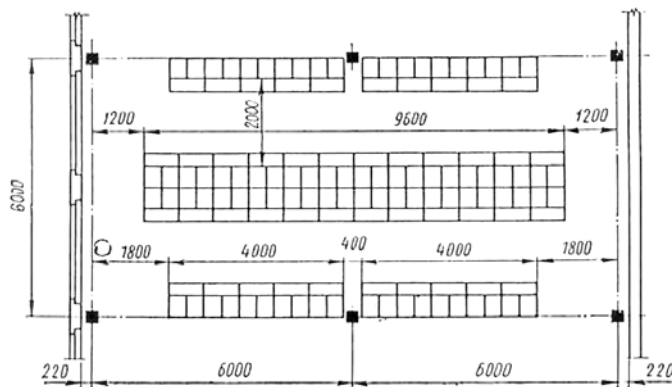
- **Одељење за ручавање.** Предвиђа се површина 1 m^2 по раднику (просечно задржавање радника 15 - 20 min.) За помоћне просторије и кухињу се узима 20 - 50 % од површине одељења за ручавање.
- **Амбуланта:** Лекарска ординација 18 - 20 m^2 , чекаоница 20 m^2 .
- **Гардеробе.** Предвиђа се површина 0,5 m^2 по раднику. Димензије плакара за смештај одела радника су 0,4 x 0,5 x 1,8 m. На слици 7-27 приказан је распоред опреме у једној гардероби, а на слици 7-28 дата је шема кретања радника и радница кроз гардеробу у чистој и запрљаној одећи.
- **Санитарни објекти.** Предвиђају се следеће површине:
 - **WC** кабина 1,2 x 0,8 (једна кабина долази на 10 - 15 жена и 20 - 25 мушкараца (слика 7-29),
 - писоар 0,5 m^2 , заједно са пролазом (1 писоар на 20 - 25 радника),
 - умиваоник 0,5 x 0,4 m (један на 5 радника),
 - туш кабина 1,0 x 1,0 m, (једна кабина на 10 радника), слика 7-30
 - групни тушеви - 0,5 m^2 по раднику (1 туш на 20 радника).
- **Канцеларије.** Површина просторије предвиђене за обављање административних послова мора да износи најмање 3 m^2 по једном запосленом, а површина просторије предвиђене за конструкциони биро треба да буде најмање 5 m^2 по једном радном столу. Висина просторија не сме да буде мања од 2,6 m.

7.5. Евакуација радника

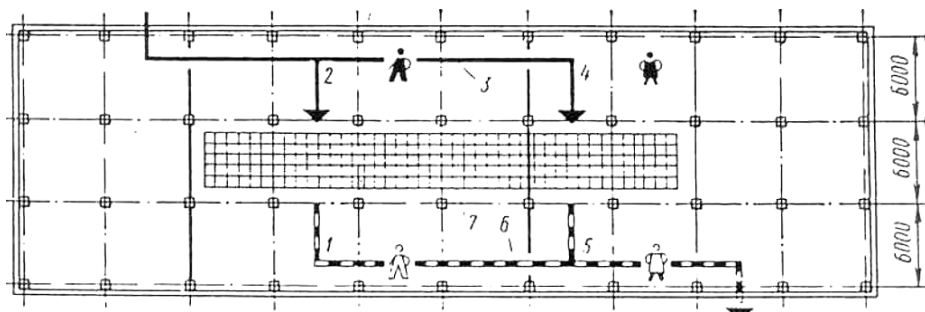
Распоред и број излазних врата на приземним индустријским објектима треба да буде такав, да одстојање између најудаљенијег радног места и најближег излаза не буде веће од 50 m. Код вишеспратних грађевинских објеката распоред и број излазних врата треба да буде такав, да растојање између најудаљенијег радног места и најближег излаза на степениште не буде веће од 30 m (слика 7-31). Грађевински објекти са више од 3 спрата морају да имају најмање два довољно удаљена степеништа, од којих се једно користи у случају опасности. Степеништа морају да имају излазе који воде у слободан простор.



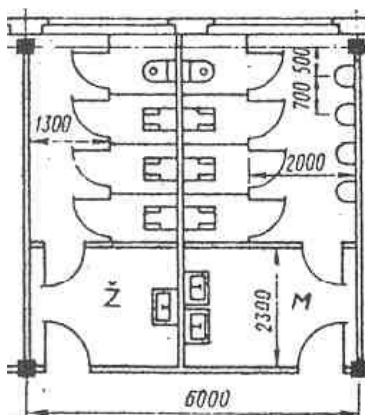
Слика 7-26. положаји главних саобраћајница у хали



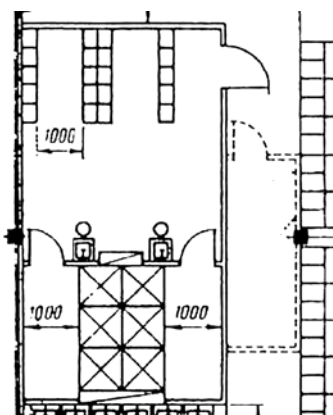
Слика 7-27. Распоред опреме у гардероби



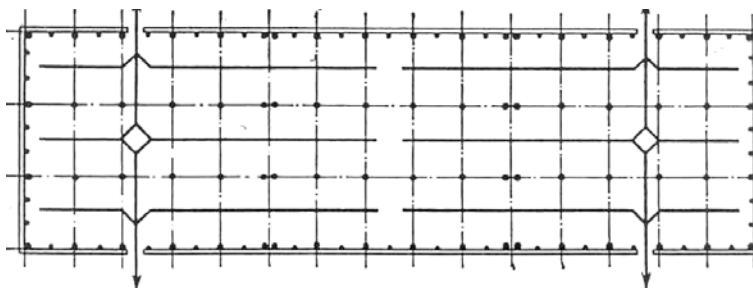
Слика 7-28. Шема кретања радника у чистој и заправљаној одећи



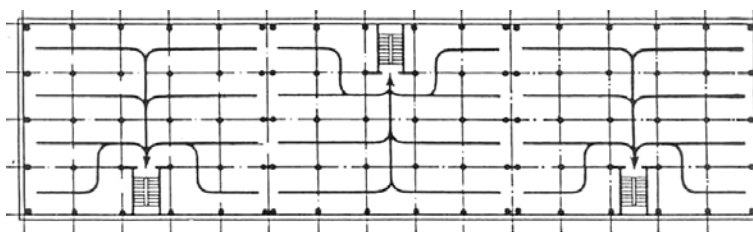
Слика 7-29. Санитарни чвор (WC)



Слика 7-30. Санитарни чвор (туш кабине)



Приземље



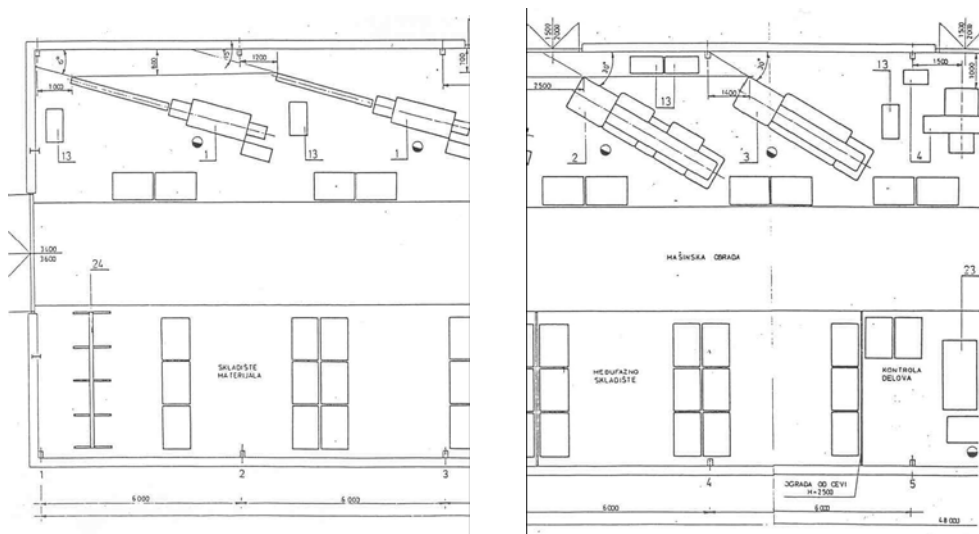
Спрат

Слика 7-31. Пут евакуације радника

7.6. Примери извођења диспозиционог плана

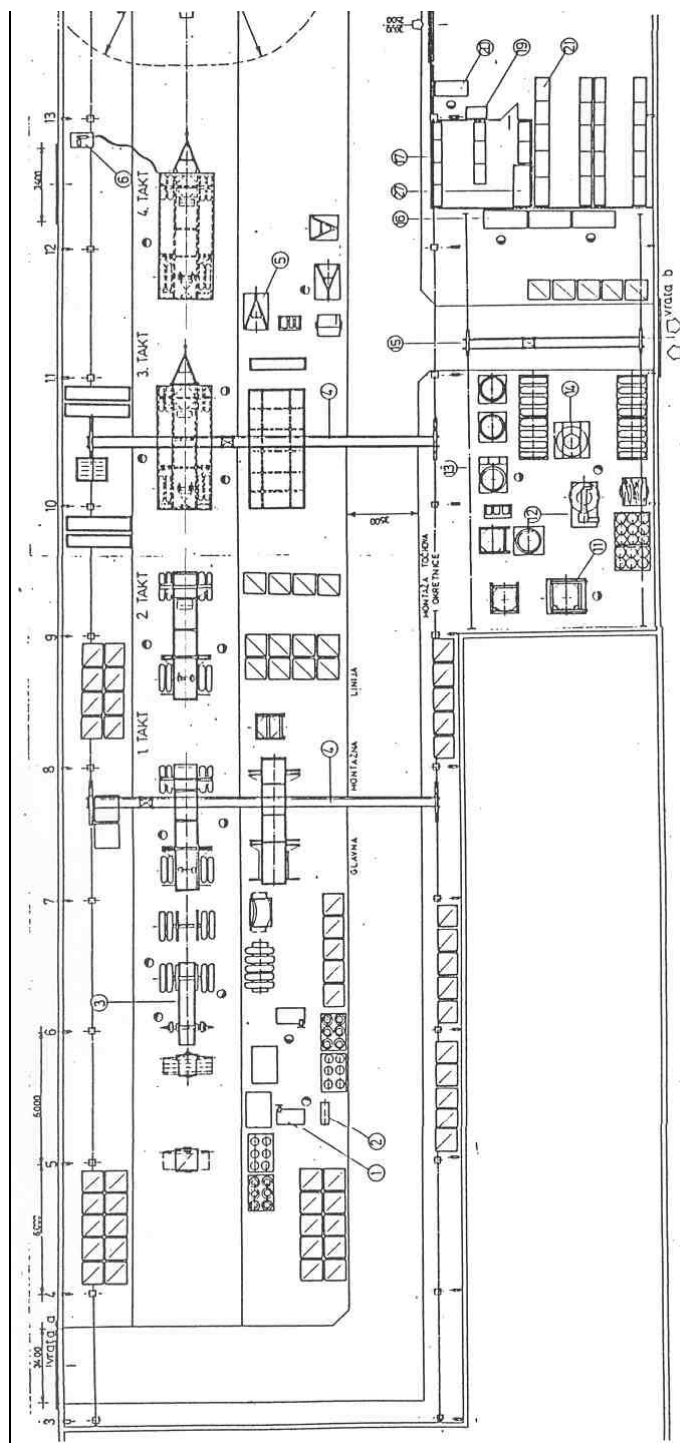
Наведени су примери формирања диспозиционог плана за неколико карактеристичних типова layout-а изведених објеката:

- Машинска радионица једне мале фабрике /Зрнић, Величковић 1983/. Распоред машина према процесу (сл. 7-32).
- Линија за монтажу камионских и пољопривредних приколица носивости до 16 тона (слика 7-33) /Зрнић и др.1983, 1984/.
- Централно складиште за чување компонената и готове робе (слика 7-34) /Зрнић 1984/
- Фабричко постројење за припрему песка за облагање, НС 2000, капацитета 2 t/h (за израду језгара по SHELL поступку, ливница "Београд", нова ливница "Раља", слика 7-35) /Зрнић, Прокић 1982/

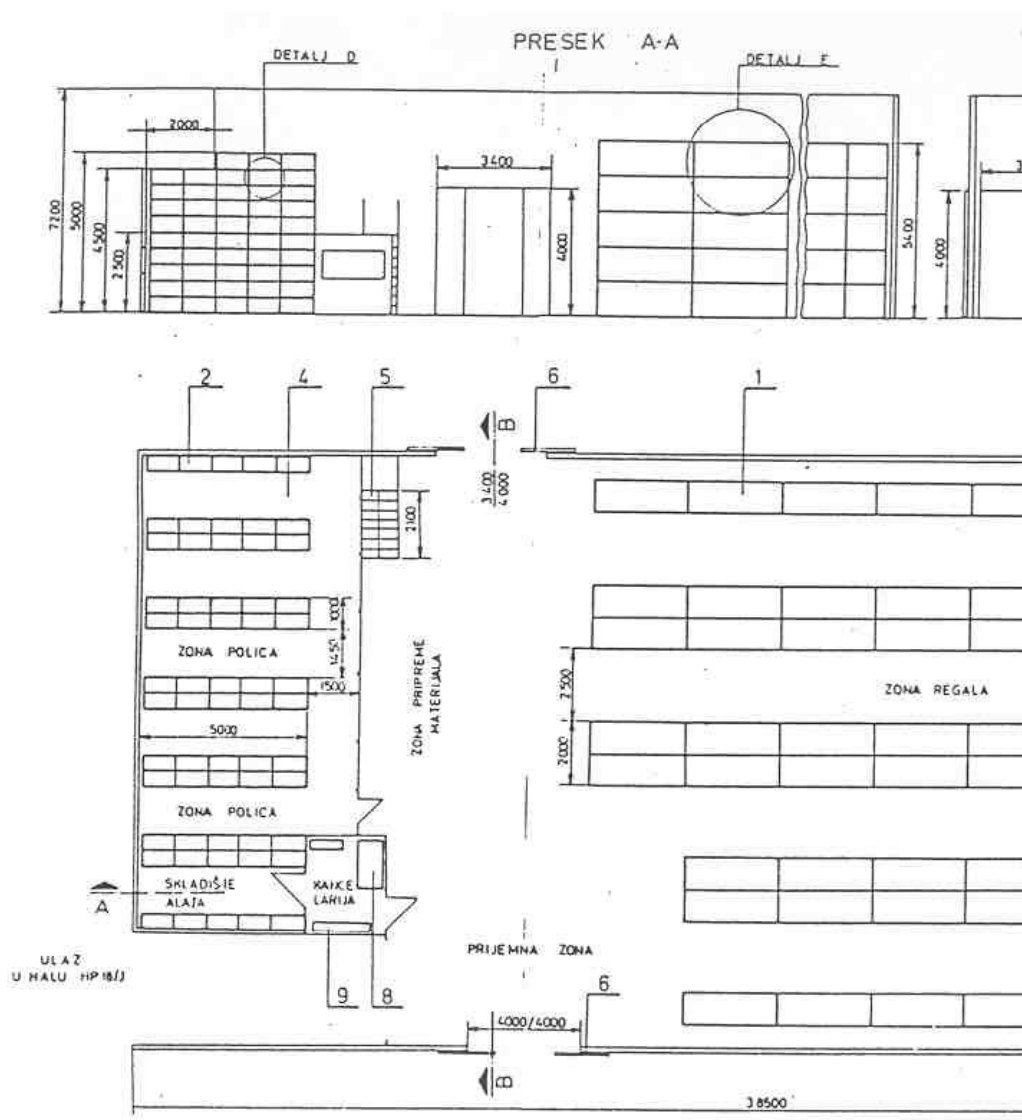


Слика 7-32. Машинска радионица једне мале фабрике (део основе)

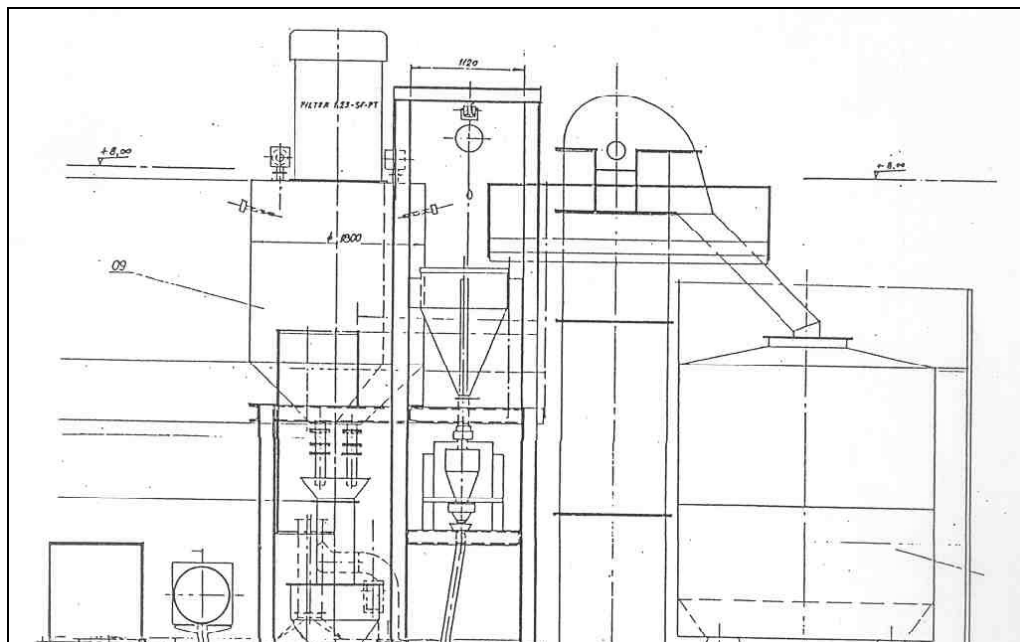
7. Диспозициони план



Слика 7-33. Фабрика за производњу камионских и пољопривредних приколица носивости 16 t (део линије монтаже) /Зрнић и др. 1983, 1984/



Слика 7-34. Централно складиште за чување компонентата и готове робе (део основе)



Слика 7-35. Постројење за припрему песка за облагање НС 2000, капацитета 2 т/ч, за израду језгара у ливници по SHELL поступку, ливница "Београд", нова ливница Раља /Зрнић, Прокић 1982/.

8. СНАБДЕВАЊЕ ЕНЕРГИЈОМ

У индустријским постројењима се употребљавају различите врсте енергије, као што су: електро енергија, компримовани ваздух, чврсто, течно и гасовито гориво, пара, топла и хладна вода, ацетилен, кисеоник итд. Енергија се троши у различитим количинама, према режиму потребе, који зависи од примењеног технолошког процеса у производњи.

Снабдевање енергијом зависи од следећих фактора:

- потребне врсте енергије и начина искоришћења појединих носиоца енергије,
- потребне количине енергије различитих врста и односа међу тим количинама,
- постојања других енергетских постројења у предузећу, њихове врсте и броја, капацитета и могућности њиховог учествовања у енергетском билансу погона, и
- постојања или могућности успостављања везе са спољним изворима за снабдевање енергијом.

Избор оптималне шеме снабдевања енергијом одређује се на основу техничко-економских упоредних анализа различитих варијанти енергетског решења, која базирају на разрађеним стварним потребама у енергији (свих врста), на могућности остваривања везе са спољним изворима енергије и на изградњи нових или коришћењу већ постојећих локалних енергетских постројења.

У табlici 8-1 дати су основни извори, различитих врста енергије, који се користе у индустријским постројењима.

8.1. Енергетске карактеристике производних процеса

Основне технолошке процесе и операције у индустрији, у којима се примењују различите врсте енергије, можемо поделити на следеће групе:

- I Процеси и операције везани за обраду метала и полуфабриката, као и њихов транспорт.
- II Електрохемијски процеси.
- III Високотемпературни процеси (на температурама преко 500 °C).
- IV Средњетемпературни процеси (на температурама од 100 до 500 °C).
- V Нискотемпературни процеси (на температурама до 100 °C).
- VI Помоћни процеси за опслуживање основне производње.

У табlici 8-2 дате су карактеристике основних енергетско-технолошких процеса, по групама. У табlici 8-3 дате су енергетско-технолошке шеме основних процеса у машиноградњи. Приказано је којим носиоцима енергије је могуће опслуживати производне процесе појединих одељења и радионица.

Прорачун укупне потрошње енергије у једном погону може да се обави на два начина:

- A. Потрошња енергије рачуна се по операцијама за сваки део једног производа. Добијене вредности се уносе у образац 8-1. Из таблица, које се састављају за све производе, добијају се следећи подаци:
 - обрачун укупне потрошње енергије за одељења - податак потребан за пројектовање разводне мреже и постројења за снабдевање енергијом,
 - утицај потрошње енергије на формирање цене производа.
- B. На основу инсталисане опреме, односно потрошача и њиховог режима рада се изводи прорачун по обрасцу 8-2, за свако одељење. Потрошња се своди на јединицу времена (час). Добијену укупну потрошњу (збир потрошње појединих машина и уређаја) треба кориговати узимајући у обзир степен једновремености потрошње и време рада у току смене.

Таблица 8-1.

Врста енергије	Шема снабдевања енергијом	
	Централизовано	Индивидуално
Електрична	Градска мрежа	Фабричка термоелектрана
Топлотна	Градска топлана	Котларница, искоришћење отпадне топле воде
Гас - природни, произведени, отпадни (за пећи и котлове)	Гасовод	Гасогенераторска станица, отпадни гасови из технолошког процеса
Ацетилен	Снабдевање гаса у боцама	Ацетиленска станица
Течно гориво (мазут)	Снабдевање код произвођача	
Чврсто гориво (угаљ и др.)	Снабдевање код произвођача	Отпад из технол. процеса
Пара	Паровод	Котларница
Компримовани ваздух	Централни развод	Компресорска станица
Вода	Водовод	Пумпна станица за воду

Таблица 8-2.

Процеси Групе	Производне потребе	Носиоци енергије
1.	Електрични погон, пнеуматски погон, парни погон	Електрична енергија, компримовани ваздух, пара
2.	Електролитичко покривање металних површина	Електрична енергија, топлотна енергија, вода
3.	Топљење метала, термичка обрада метала, површинско каљење, загревање, итд.	Електрична енергија, нормалне и повећане фреквенције, горива свих врста
4.	Загревање, сушење	Електрична енергија, горива свих врста, пара, топла вода
5.	Загревање	Топла вода
6.	Осветљење, грејање, вентилација, климатизација, аутоматизација, сигнализација и даљинско управљање	Електрична енергија, топла вода, пара, компримовани ваздух

8.2. Снабдевање електричном енергијом

Фабрике се углавном снабдевају електричном енергијом из опште мреже високог напона. У трансформаторској станици, која је смештена у кругу фабрике, електрична енергија високог напона претвара се у електричну енергију нижег напона. У случају када није могуће да се обезбеди прикључак на општу електричну мрежу потребно је изградити локалну електрану.

8. Снабдевање енергијом

Електрична енергија се користи у производним и помоћним одељењима иа напајање: електромотора, у електрохемијским процесима, за осветљавање итд. Најчешће се користе нормални напони 220 V и 380 V, учестаности 50 Hz.

Годишња потрошња електричне енергије се одређује на основу података о броју постављених потрошача свих врста, њихове инсталисане снаге и ефективном фонду часова рада. Овај прорачун се изводи по обрасцу 8-3.

Таблица 8-3.

Назив радионице	ТЕХНОЛОШКИ ПРОЦЕС	Електрична енергија	Пара 4 - 6 bar	Топла и хладна вода	Компримовани ваздух	Гас	Чврсто и течено гориво
Машинска обрада	На машинама за обраду метала резањем	+	-	+	+	-	-
Термичка обрада	Каљење, отпуштање, цементација, жарење, нормализовање, нитрирање	+	-	+	+	+	+
	Припрема за површинску заштиту (одмашћивање, прање, полирање, нагризање киселинама)	+	+	+	+	-	-
Површинска заштита	Електролитским путем (никловање, хромирање, цинковање, бакарисање итд.).	+	+	+	+	-	-
	Обрада површине после заштите (сушење, полирање, прање итд.)	+	-	+	+	+	-
Хладно пресовање	Пресовање полуфабриката од лима	+	-	+	+	+	-
Бојење, сушење	Бојење и сушење делова и готових производа	+	+	+	+	-	-

Образац 8-1.

Преглед потреба и потрошња								Листа бр.
Назив производа:				Назив склопа:				Позиција:
Операција	Машина (уређај)	Одељење	Електрична енергија	Компр. ваздух	Пара	Ацетилен	Вода	Примедба
1	2	3	4	5	6	7	8	9

Образац 8-2.

Списак потрошача								Листа бр.
Редни број	Назив потрошача	Одељење	Електрична енергија	Компримовани ваздух	Пара	Ацетилен	Вода	Примедба
1	2	3	4	5	6	7	8	9

Образац 8-3.

Позиција	Потрошач електричне енергије	Инсталисана снага (kW)	Број мотора	Просечна снага (kW)	Просечна потрошња 1. смена	Просечна потрошња 2. смена	Просечна потрошња 3. смена
1	2	3	4	5	6	7	8

Трансформаторска станица и разводна мрежа се димензионишу према укупној инсталисаној снази (укупна снага свих постављених потрошача) и степену једновремености потрошње. Степен једновремености потрошње је изражен односом оптерећења у шпигецима и укупне инсталисане снаге.

$$G_z = \frac{P_m}{\sum P_i}$$

где је:

P_m - највеће једновремено оптерећење (kW)

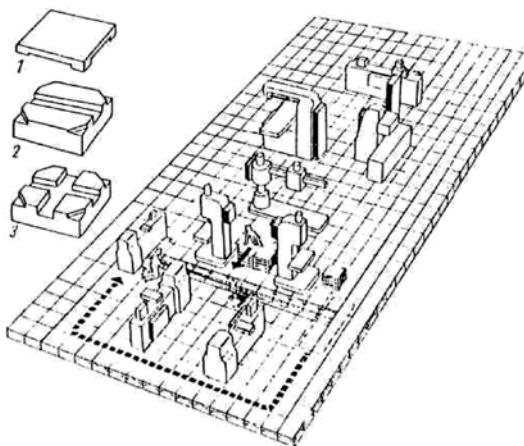
$\sum P_i$ - укупна инсталисана снага (kW)

У табелици 8-4 дате су просене вредности коефицијента једновремености потрошње за поједине уређаје. Просечни степен једновремености потрошње за линијску производњу износи 0,6 - 0,8, а за радионице са малим степеном механизованости 0,3 - 0,5.

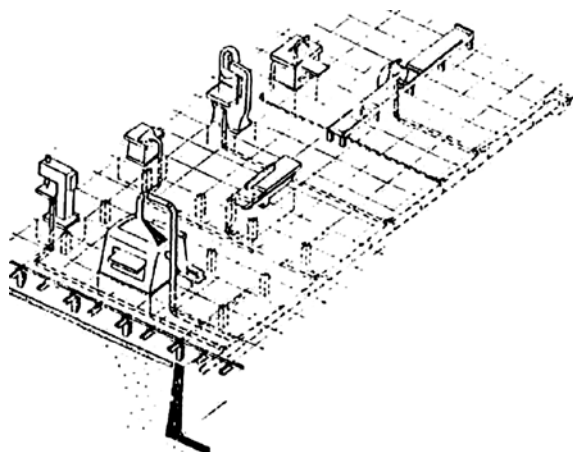
Таблица 8-4.

Коефицијент једновремености потрошње	
Вентилатори у систему проветравања и грејања	0,7
Пумпе, компресори	0,8
Дизалице, при режиму рада ТР 25 %	0,1
Дизалице, при режиму рада ТР 40 %	0,2
Елеватори, транспортери, конвејери	0,5 - 0,6
Трансформатори за уређаје за заваривање	0,35
Машине за заваривање	0,2 - 0,4
Аутомати за заваривање	0,5
Електропећи, сушаре	0,8
Машине алатке	0,2 - 0,3

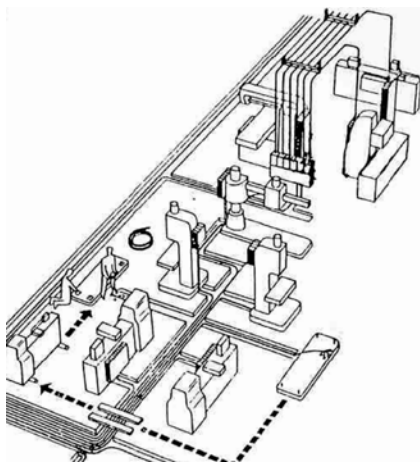
На сликама 8-1 до 8-3 приказане су могућности извођења доњег развода каблова за напајање машина (кроз специјалне блокове, подигнуту конструкцију пода и канале у поду). Сlike 8-4 и 8-5 приказују напајање машина електричном енергијом преко горњег (шинског) развода.



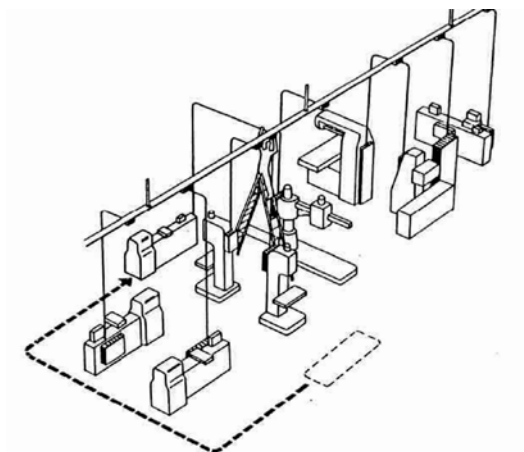
Слика 8-1. Доњи развод за напајање машина (кроз специјалне блокове)



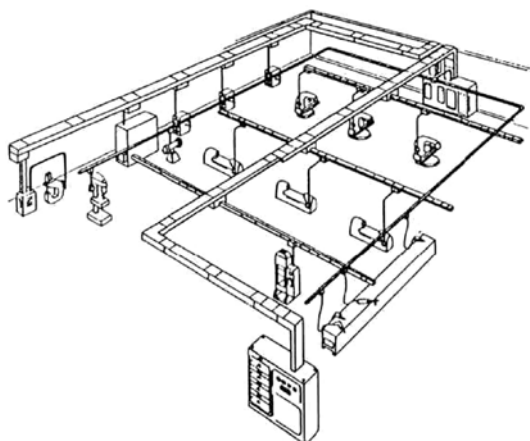
Слика 8-2. Доњи развод за напајање машина (кроз подигнуту конструкцију пода)



Слика 8-3. Доњи развод за напајање машина кроз канале у поду



Слика 8-4. Напајање машина преко горњег (шинског) развода.



Слика 8-5. Напајање машина преко горњег (шинско каналног) развода

8.3 Снабдевање топлотном енергијом

У радионицама се користи топлотна енергија у виду паре и топле воде, за производне потребе, грејање, вентилацију, климатизацију и санитарно техничке потребе. Снабдевање топлотном енергијом се обавља из мреже енергетског система (градска топлана), или из фабричке котларнице. Карактеристике паре, притисак и температура, као потребна количина се одређују на основу производног процеса и постављених потрошача. На основу тих параметара се спроводи избор и прорачун котловских постројења, разводне мреже и одговарајуће арматуре.

Просечна часовна потрошња паре по 1 t производа у машиноградњи износи 0,1 - 0,2 kg. Просечна потрошња топле воде дата је у табlici 8-5.

8. Снабдевање енергијом

Таблица 8-5.

Потрошња топлоте	Јединица мере	Температура воде у °C	Потрошња воде (l)
Опште потребе	1 запослени	40	15 - 20
Купатило са тушем	1 радник	40	45
Прање просторија у управним зградама	m ²	35 - 40	0,4 - 0,6
Прање судова у кухињама - ручно	1 оброк	45	7 - 8
Прање судова у машинама	1 оброк	95	3 - 5

8.4. Компримовани ваздух

У радионицама се компримовани ваздух користи за погон и опслуживање појединих машина и уређаја. Погон компримованим ваздухом имају: пнеуматске пресе, пнеуматски алати, пнеуматске дизалице, пнеуматски стезачи итд. Примењују се за продувавање делова после прања, чишћење делова и склопова у току монтаже, сушење производа пре површинске заштите, чишћење машина од струготине итд.

Компримовани ваздух се производи у компресорском постројењу и разводи цевном мрежом до појединих потрошача. Компресорско постројење (компресорска станица) се поставља у посебну просторију и при томе се тежи да буде што ближе главним потрошачима. Постројење треба да буде тако димензионисано, да сваком потрошачу обезбеди потрбну количину ваздуха са одговарајућим карактеристикама (притисак и температура). Уколико је у радионицама потребан сабијени ваздух различитих притисака, компресорска станица мора да обезбеди највиши притисак, а на местима где је потребан нижи притисак исти се смањује постављањем редукционих вентила.

За производњу компримованог ваздуха примењују се углавном клипни и турбо компресори. Клипни компресори троше 15 - 20 % мање електричне енергије од турбо компресора. При великим потребама у компримованом ваздуху, реда 60.000 до 100.000 m³/h користе се турбо компресори, зато што они захтевају знатно мању површину за постављање и тиши су у раду. Притисак на излазу из станице је обично за 1 bar већи од притиска у цевоводу, због пада притиска у мрежи.

Потрошња компримованог ваздуха код машина и уређаја периодичног дејства зависи од потрошње ваздуха за једну операцију (према врсти уређаја) и рачунског броја операција које се обављају у току једног дана. Овај прорачун се изводи по обрасцу 8-4.

Образац 8-4.

Позиција	Машине и уређаји	Број ком.	Број укључивања на час у току смене			Потрошња ваздуха у току једног укључивања (m ³)	Потрошња ваздуха у току смене (m ³)			Годишња потрошња ваздуха (m ³)
			I	II	III		I	II	III	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11

За прорачун потребне количине компримованог ваздуха код машина непрекидног дејства узима се максимална потрошња ваздуха, при чему се води рачуна о ефективном раду ових уређаја. Прорачун се изводи према обрасцу 8-5.

Образац 8-5.

Позиција	Машине и уређаји	Број ком.	Потрошња ваздуха при непрекидном раду у (m ³ /h)			Трајање радног циклуса у току смене (h)	Просечна потрошња ваздуха у току смене (m ³)			Годишња потрошња ваздуха (m ³)
			I	II	III		I	II	III	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11

Просечно време рада за поједине уређаје је следеће: коморе за чишћење сачмом помоћу компримованог ваздуха 4 h, пнеуматски уређаји 2 - 3 h, дуваљке 0,5 h, распршивачи за бојење 2 - 4 h, итд.

Просечна потрошња компримованог ваздуха (m³/h) за поједине потрошаче:

- | | |
|---|-----------|
| • пнеуматски алати | 2,5 - 5,0 |
| • пнеуматски прибори | 2,0 - 4,0 |
| • дуваљке (чишћење машина од струготине) | 1,0 - 2,0 |
| • дуваљке (продувавање после прања делова) | 30 - 60 |
| • пнеуматске бруснице | 40 - 90 |
| • пнеуматске дизалице (до 2 t), за једно дизање у (m ³) | 0,2 - 0,6 |

8.5. Снабдевање водом

У фабрикама хладна вода се користи за животне потребе (санитарно чиста) и у индустријске сврхе. Вода за животне потребе (за пиће, припремање хране, санитарије) мора да одговара санитарним прописима. Снабдевање овом водом је из градске мреже, уколико је могуће обезбедити довољне количине, или из сопствених бунара, односно пумпних станица (на рекама или језерима) и резервоара.

Вода за индустријске циљеве мора да испуњава следеће услове: не сме да буде агресивна за ценоводе, не сме да садржи микроорганизме и велику количину чврстих честица. На изворима за напајање се постављају црпне станице и вода се разводном мрежом доводи до постројења. Да се обезбеди сигурно снабдевање водом, мрежа водоводне инсталације мора да има

8. Снабдевање енергијом

резервоаре за воду. Из ових резервоара се црпе вода у сличају прекида, или недовољног довода из извора за снабдевање.

Просечна потрошња индустријске воде у машиноградњи износи 40 - 80 литара по тони производа (код производње мотора са унутрашњим сагоревањем 80 - 120). Потрошња воде зависи од капацитета компресора. За хлађење 1 m^3 ваздуха потребно је 10 m^3 воде. Да би се смањила потрошња воде, користе се уређаји за рецикулацију и хлађење исте, па се смањује потрошња воде на $1 \text{ m}^3/\text{m}^3$ ваздуха.

Санитарно чиста (питка) вода се употребљава за пиће, кување и санитарне потребе. Просечна потрошња питке воде (сведено на једног запосленог), у току једне смене:

- | | |
|---|-----------|
| • за пиће, кување и прање | 20 - 30 l |
| • за купање, умивање и остале санитарне потребе | 40 - 50 l |

8.6. Снабдевање горивом

Примењују се следеће врсте горива: природни и генераторски гас, течна и чврста горива.

Природни гас је јефтин. Његова примена омогућује аутоматизовање процеса рада пећи, што доводи до знатно ниже цене загревања при термичкој обради, сушењу производа после бојења итд. Доводи се из општег гасовода средњег притиска. На уласку у радионице постављају се регулаторске подстанице за одржавање задатог притиска.

Генераторски гас је малокалоричан и зато није погодан за примену код високотемпературних процеса. Цена утрошене енергије при загревању делова у пећима, које се загревају генераторским гасом је око два пута већа, него у пећима које се загревају природним гасом.

Течно гориво - мазут чува се у специјалним резервоарима. Ови резервоари се загревају паром и опремљени су пумпном станицом за напајање разводних цевовода. Довози се у специјалним цистернама.

Чврста горива - угаљ и кокс се чувају у посебно изграђеним складиштима. Довозе се железницом, камионима или у баржама - водним путем.

Избор врсте горива зависи од производних захтева погона, цене коштања горива, могућности набавке и транспортних трошкова. Укупна годишња потреба зависи од потрошње горива свих производних пећи, сушара, уређаја за грејање итд.

9. ФАБРИЧКЕ ЗГРАДЕ

При избору типа зграде и њених основних параметара, код пројектовања фабрика, треба се придржавати постојећих грађевинских норми и прописа. У овом поглављу дају се само елементарни појмови везани за изглед, конструкцију и димензије индустријских грађевинских објеката. При разради технолошког дела пројекта одређују се главни параметри зграде: основне димензије основе, распоред стубова, положај бродова (поља) и њихова висина (у пољима где су постављене дизалице - висина до горње ивице дизаличне шине). При одређивању ширине поља (L) треба водити рачуна о стандардним распонима дизалица (L_k) и распонима хала. Дужина поља, растојање између оса крајњих стубова износи:

$$A = (n - 1) \cdot t \quad (\text{m})$$

где је:

n - број стубова у реду (дуж поља), и

t - осно растојање стубова (стандардне вредности су дате на сликама 9-1 и 9-2).

Висина поља (H) (слика 9-3) представља растојање од пода до носеће кровне конструкције. Висина дизаличне стазе је растојање од пода до горње ивице дизаличне шине (ГИШ). Висина поља (H) у коме нису смештене мостовске дизалице или уређаји непрекидног транспорта (који су постављени на носећој кровној конструкцији), одређује се обично у зависности од висине примењене опреме: при томе треба водити рачуна о могућности монтаже и демонтаже уређаја. Висина дизаличне стазе (H_1), одређује се у зависности од висине усвојене опреме, габарита материјала који се транспортује и типа мостовске дизалице.

9. Фабричке зграде

Висина поља (H) износи:

$$H = H_1 + h \quad (\text{m})$$

где је:

H_1 - висина дизаличне стазе,

h - растојање од горње ивице дизаличне шине до доњег појаса носеће кровне конструкције.

Величина (H_1) се одређује из једначине:

$$H_1 = k + z + e + f + c$$

где је:

k - габаритна висина усвојене опреме, преко које се преноси терет дизалицама (ова висина не сме бити мања од 2,3 m),

z - сигурносно растојање, при преношењу терета дизалицом изнад опреме; узима се 0,5 m,

e - висина највећег терета,

f - дужина органа за вешање, мерено од горње ивице терета до центра куке дизалице (ова величина не сме бити мања од 1 m), и

c - растојање од крајњег горњег положаја куке до горње ивице дизаличне шине, узима се према усвојеном типу мостовске дизалице.

Величина (h) се одређује из једначине:

$$h = p + m$$

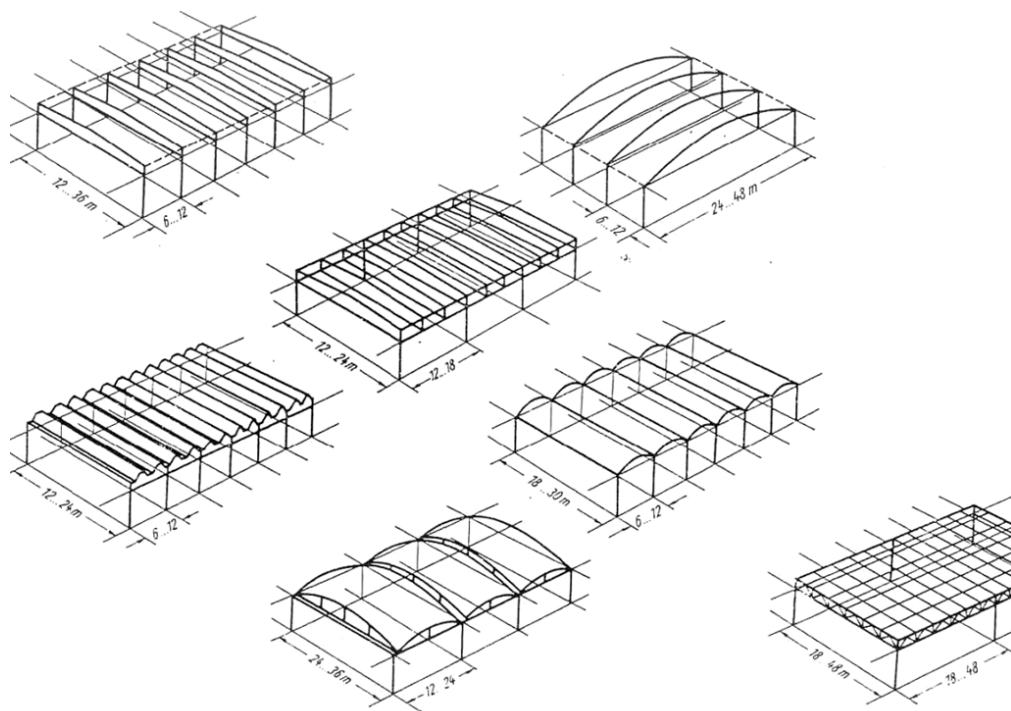
где је:

p - габаритна висина мостовске дизалице од горње ивице дизаличне шине до највише тачке колица (дизалице), узима се према усвојеном типу мостовске дизалице,

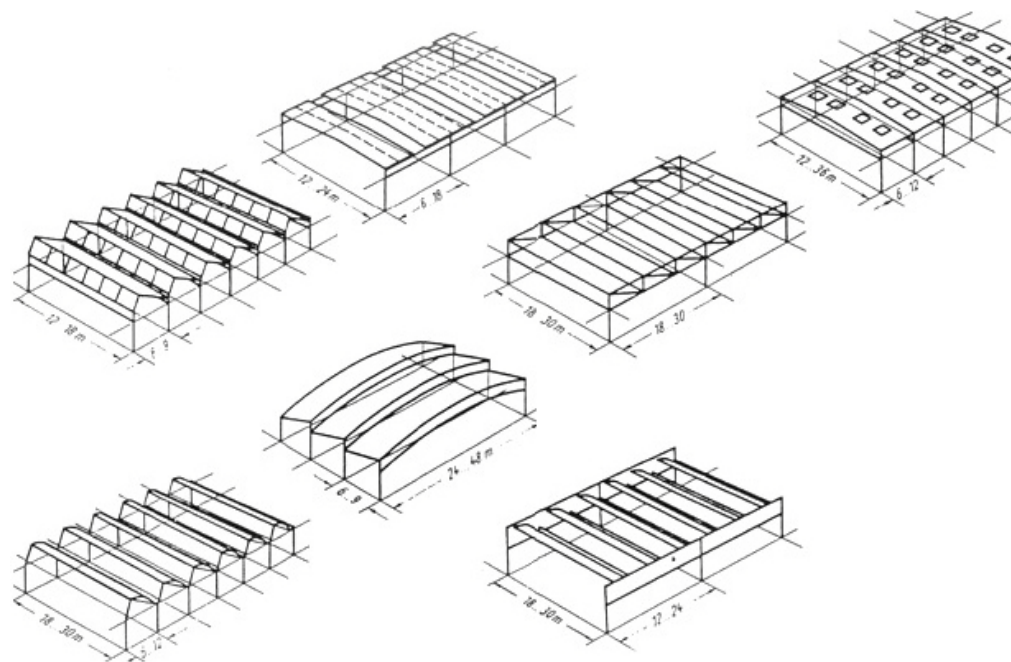
m - растојање између највише тачке дизалице (колица) и доњег појаса носеће кровне конструкције (не сме бити мање од 100 mm).

На слици 9-4 приказана је кранска стаза постављена на сопствену челичну конструкцију, а на слици 9-5 дат је детаљ везивања кранске стазе за стуб хале челичне конструкције.

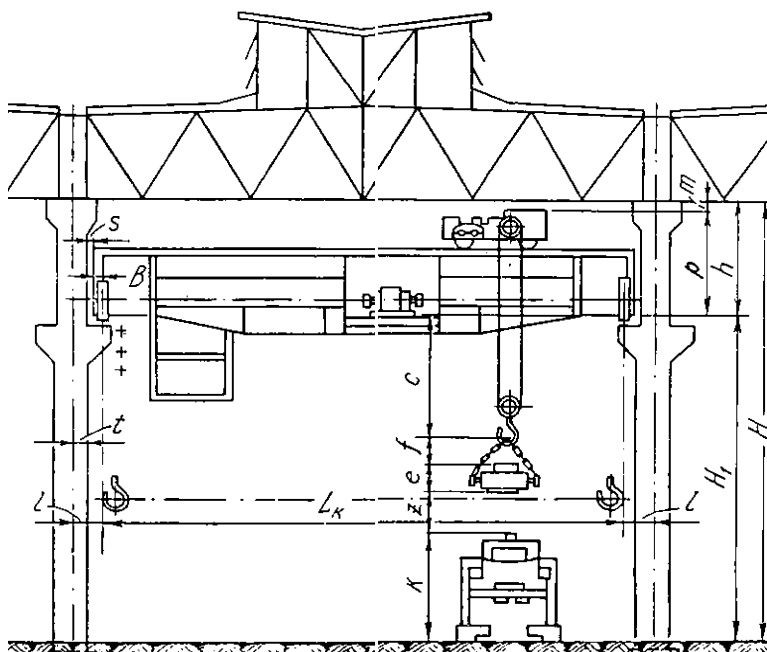
Величина радног простора зависи од врсте рада који се обавља (према прописима). У сваком случају мора бити таква да на свако запослено лице долази најмање 10 m³ ваздушног простора и 2 m² слободне површине пода. При одређивању габаритних мера зграде ливнице треба водити рачуна да запремина производних просторија не сме да буде мања од 15 m³ (за просторије у којима се предвиђа ливење метала износи 24 m³), а њихова површина од 4 m² по једном раднику.



Слика 9-1. Стандардне вредности растојања стубова и распона поља



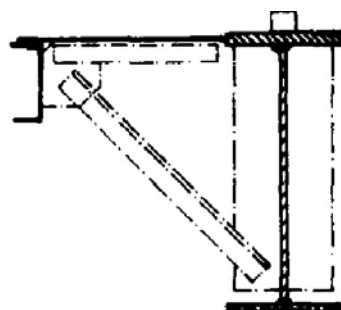
Слика 9-2. Стандардне вредности растојања стубова и распона поља



Слика 9-3. Пресек хале са основним димензијама



Слика 9-4. Кранска стаза је постављена на сопствену конструкцију



Слика 9-5. Детаљ везивања кранске стазе за зид хале

Фабричке зграде могу да се поделе на две основне групе: приземне и спратне.

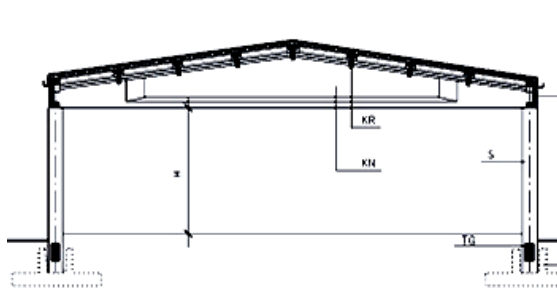
9.1. Приземне зграде

Приземне зграде се често примењују у металопрерађивачкој индустрији, а нарочито при производњи тешких комада. Обично се граде са 3 до 4 поља. Пројектују се са основама правоугаоног или квадратног облика, зато што су

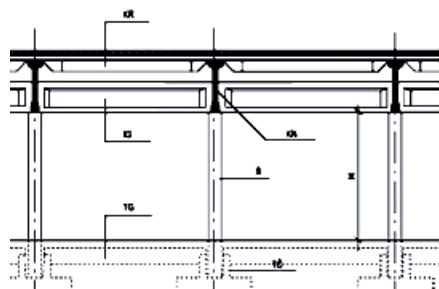
економичније у односу на друге облике основа. Правоугаони и квадратни облик основе су погодни за смештај различитих производних постројења и лако се прилагођавају променама у производњи. Зграде **II** и **III** облика у основи могу да се примене само у оним случајевима где постоји техничко-економско оправдање.

Најмања висина просторија у индустријским зградама обично износи 3,0 m. Висина просторија приземних зграда одељења, радионица и постројења за опслуживање производње и обезбеђење услова рада најчешће се узима од 3,5 - 4 m, а производних хала до 12 m, зависно од врсте производа, димензија опреме и захтева транспорта. Висина хала у којима се налазе мостовске дизалице зависи од највеће захтеване висине дизања и конструкције дизалице. Дубина просторије приземних грађевина није ограничена, зато што се може да примени осветљавање и кроз кров.

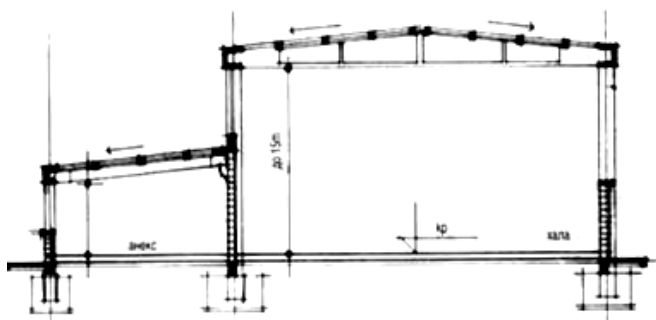
На сликама 9-6 до 9-8 и 9-10 до 9-14 су приказани пресеци различитих типова стандардних хала, а на слици 9-9 је дат изглед једне приземне зграде у којој су инсталације и део помоћних одељења постављени испод нивоа пода хале.



Слика 9-6. Попречни пресек стандардне бетонске хале



Слика 9-7. Подужни пресек исте хале

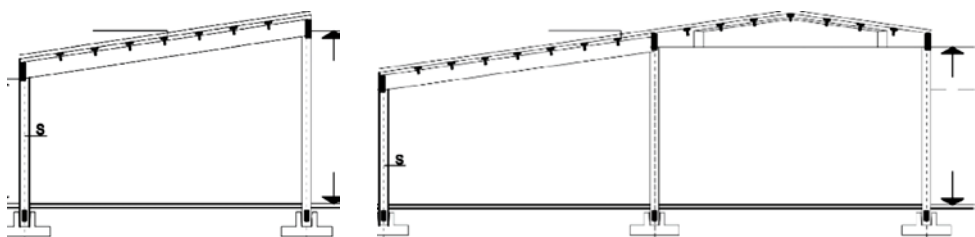


Слика 9-8. Двоброда бетонска хала



Слика 9-9. Помоћна одељења и инсталације постављени су испод нивоа пода хале

9. Фабричке зграде



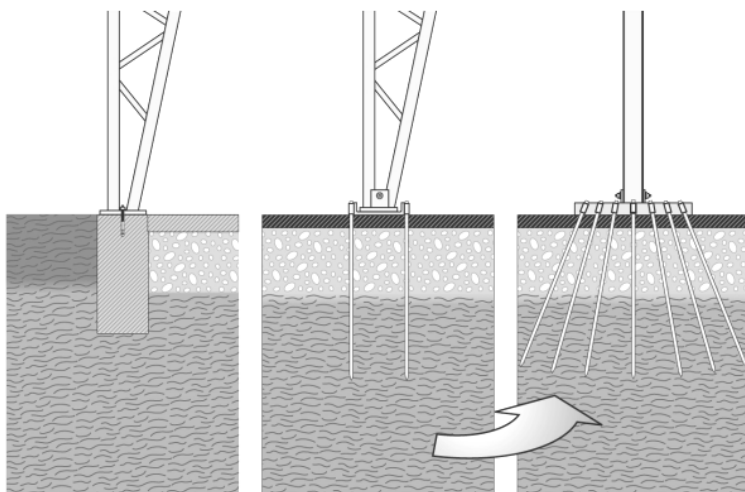
Слика 9-10. Стандардна челична хала, једнобродна и двобродна



Слика 9-11. Монтажне хале (Agrotel GmbH): Хала "I - профил" конструкција ($L = 10 - 22 \text{ m}$) и решеткаста тунел конструкција ($L = 15 - 25 \text{ m}$)



Слика 9-12. Хала решеткаста конструкција (Agrotel GmbH) са забатом ($L = 25 - 60 \text{ m}$)



Слика 9-13. Специјалне технике анкерисања (бетонским гредицама и челичним шипкама)



Слика 9-14. Хала од елемената лепљеног ламелираног дрвета ($L = 6 - 30 \text{ m}$)

Диспозиционо решење индустријских зграда - хала се формира од једног или више бродова (поља). При томе брод је парцијални део хале формиран низом парова паралелних стубова, а поље је део брода ограничен са наспрамним паровима стубова. Главне конструктивне целине носећег система хале су: кровна конструкција, главни стубови хале са системом за анкерисање, конструкција спољних и евентуално преградних зидова, спрегови (кровни, вертикални и за бочне ударе) и допунски елементи (платформе, степеништа, светларници итд.).

Приземне зграде за индустријске објекте се граде као:

- бетонске хале,
- хале од челичних конструкција, и
- хале од дрвених конструкција.

Бетонске хале се израђују од армираног бетона, најчешће као монтажне. Могу да буду једнобродне, распона најчешће до 25 m и вишебродне истог распона. Изглед стандардних бетонских хала је дат на сликама 9-6 до 9-8. Приликом израде диспозиционог решења посебну пажњу треба обратити на положај стопа стубова. Ово је значајно уколико машине имају сопствене темеље и производе вибрације у раду.

У појединим случајевима је неопходно да се у приземним објектима поставе металне платформе (галерије) на одговарајућој висини, које се користе за обављање појединих процеса (нпр. део монтаже), постављање опреме или за приручна складишта. На овај начин може да се повећа степен искоришћења производног простора и да се скрате поједини транспортни путеви. За комуникацију људи између основе хале и галерије предвиђају се металне степенице (слика 9-15). За прилажење појединим деловима опреме при веома малој фреквенцији комуницирања (нпр. код одржавања, повремених надзора, пењања до кабине крана итд.) користе се пењалице. За повремене поправке могу да се користе лествице.



Слика 9-15. Део платформе са степеницама

Хале од челичних конструкција су прилагођене потребама разних врста индустрије. Стандарна решења ових хала су дата на слици 9-10. Врло често се граде као вишенаменске монтажне хале са модуларним решењем које се лако прилагођавају захтевима наручиоца ($L = 10 - 60 \text{ m}$). Цена монтажних хала у односу на класичну градњу је знатно нижа, а имају и велику флексибилност тј. могућност једноставног премештања у случају промене намене (слике 9-11 и 9-12). Потпуно је искоришћена површина простора, захваљујући самоносивом типу конструкције. Захваљујући специјалним техникама анкерисања (бетонским гредицама и челичним шипкама, слика 9-13) није потребна изградња класичног темеља. Анкерисање се може извршити на земљи, шљунку или бетонским гредицама.

Хале од дрвене конструкције се израђују од лепљеног ламинираног дрвета, распона од 6 до 30 m. У пракси дрво се користи као носећи материјал. Практично не постоји ограничење у погледу распона и величине објекта, јер постоји велики број просторних склопова, као и могућност монтажног настављања носача на градилишту (слика 9-14).

Предности приземних објеката:

- подови зграде су, готово увек, постављени у истој равни, тако да је омогућена једноставна комуникација, без потребе за постављањем рампи, дизалица или степеништа,
- постоји могућност увођења железничког колосека у халу,
- мања цена 1 m^2 и 1 m^3 зграде, него код спратних зграда,
- равномерно природно осветљавање свих просторија,
- могућност повећања носивости пода без поскупљења градње,
- погодне су за постављање на земљишту лошег квалитета, због малог оптерећења,
- флексибилне су у односу на евентуалне промене у производњи, и
- мања опасност од повреда на раду.

Недостаци:

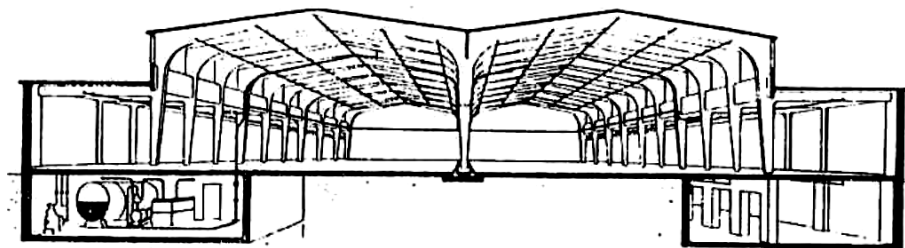
- велики топлотни губици, и
- заузимају велику површину.

9.2. Спратне зграде

Спратне зграде су веома погодне за примену у радионицама прецизне механике, електричних, радио и телевизијских уређаја, код производње електронских компонената, рачунара, микро-процесора, лабораторијама за испитивање ситних делова итд. Вишеспратна изградња је посебно погодна за смештај општих служби, техничко-технолошких бироа итд.

У последње време се појављује тенденција ка примени једносратних зграда у фабрикама (приземље и спрат, слика 9-16). У приземљу се обично постављају канцеларије, опште просторије, постројења за вентилацију, трансформаторске станице, међуоперациона складишта, средства непрекидног транспорта итд. На овај начин се избегава укопавање појединих уређаја под земљу, скраћују транспортни путеви, вентилациони канали и електрични водови.

Основна производна одељења се смештају на првом спрату. При оваквом компоновању зграде стварају се веома погодни услови за опслуживање опреме, искључује се неопходност постављања многобројних ваздушних канала унутар производних одељења као и постављање тунела. Зграде са спратом се примењују у фабрикама које не израђују производе велике масе.



Слика 9-16. Једносратна фабричка зграда

При пројектовању зграде са више спратова треба водити рачуна да се усвоји одговарајућа спратна висина да би се добило погодно природно осветљење. Спратна висина од 4,0 m, дозвољава да дубина просторије износи до 7,0 m; већа дубина просторије захтева повећање спратне висине. Приземље и спратови су повезани степеништима и лифтовима за кретање материјала између спратова.

Предности спратних зграда:

- потребан терен, у односу на добијену површину је мањи него код приземних зграда,
- мања дужина транспортних путева између неких одељења код примене вертикалног транспорта,
- мањи трошкови за одржавање и загревање зграде,
- повољни услови за проветравање и смештај уређаја за вентилацију и климатизацију,
- краће мреже за развод енергије,
- лакша комуникација запослених,
- могућност постављања помоћних одељења у приземљу, одељења за бојење, канцеларија итд.
- могућност коришћења гравитације за транспорт материјала.

Недостаци:

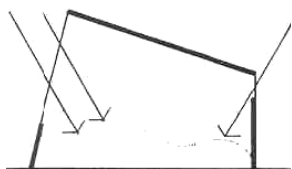
- скупља градња у односу на приземне зграде,
- ограничено оптерећење међуспратних конструкција,
- модул стубова је мањи, и
- ограничена је површина зграде када се захтева дневно осветљење.

9.3. Природно осветљење зграда

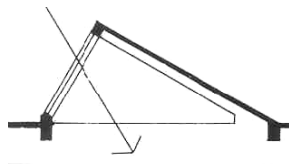
Природно осветљавање зграда се обезбеђује пропуштањем дневне светлости кроз застакљене површине на зидовима или светларнике на крову. Најпогодније је постављати прозоре за осветљење на вертикалним зидовима, због лакшег одржавања и опасности од прокишњавања, може да буде латерално или билатерално осветљење (слика 9-17). Постављање прозора на зидовима доводи до повећања висине хале, да би се омогућило што дубље продирање бочне светлости. Код хала са више поља мора да се наизменично издиже једно поље у односу на суседно, уколико се жели да се користи бочно осветљење. Уколико производни процес захтева интензивно осветљење, а хале имају широка поља, мора да се примени осветљење кроз таваницу. Овај начин осветљавања хала може да се реши углавном на следеће начине:

- тестерастом кровном конструкцијом (слике 9-18, 9-19),
- постављањем специјалних светларника - лантерни (слика 9-20), које могу да буду троугаоне, трапезне, правоугаоне и оријентисане,
- постављањем специјалних отвора на таваници (слика 9-21).
- постављањем провидних паноа на крову хале (слика 9-22),

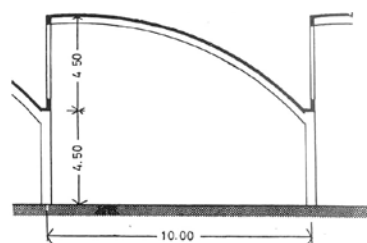
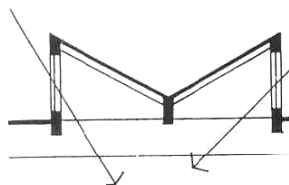
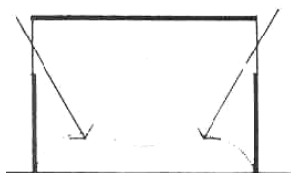
Прва два и четврти начин су погоднији зато што пропуштају већу количину светлости. Светларници су конструисани од металних профила који носе стакло.



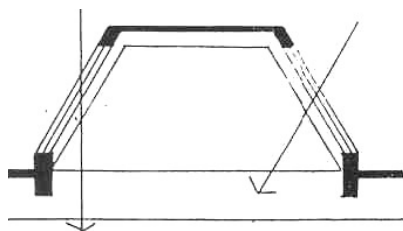
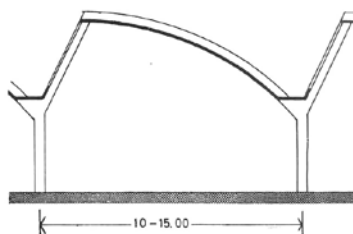
Слика 9-17. Билатерално осветљење



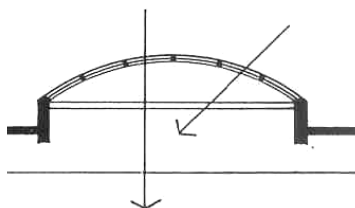
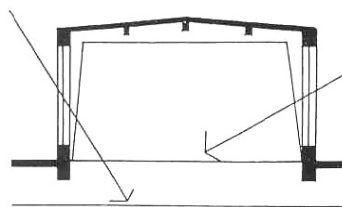
Слика 9-18. Тестераста кровна конструкција



Слика 9-19. Тестераста кровна конструкција



Слика 9-20. Трапезаста и правоугаона лантерна



Слика 9-21. Специјални отвори на таваници





Слика 9-22. Провидни панои на крову хале

9.4. Специфичан притисак на под од различитих врста оптерећења (kN/m^2)

Складиште репроматеријала:

	kN/m^2
• уздужни пролаз на коме је постављен железнички колосек	50
• складиште метала	20 - 100
• складиште расутих материјала	20 - 100
• складиште за кокс и угаљ	50

Складиште готових производа:

10 - 60

Пролази за колица, виљушкаре, тегљаче са приколицама итд.

20 - 30

Фабрике и радионице:

• лаке индустрије	(приземље)	10
	(спратови)	5 - 7
• средње индустрије	(приземље)	20
	(спратови)	10 - 15
• тешке индустрије	(приземље)	40
• у монтажним радионицама тешке машиноградње носивост пода може да буде већа од		40

Одељење за чишћење и одељење за термичку обраду

10 - 30

Гараже

10

10. ГРЕЈАЊЕ, ПРОВЕТРАВАЊЕ И ОТПРАШИВАЊЕ

10.1. Грејање

У свим радним просторијама морају се у летњем и зимском периоду обезбедити микроклиматски услови, према одговарајућим нормама датим за пројектовање индустријских постројења.

Загревање радних просторија у којима се радници задржавају стално или дуже од 2 часа без прекида, мора се обезбедити за време хладног периода по нормативима из таблице 10-1. У таблици 10-2 дати су нормативи за температуру и број измена ваздуха у просторијама општих служби, конструкционим бироима и сл.

За загревање радних просторија површине до 500 m², у којима се при производњи не издавају, нити користе запаљиве или експлозивне материје, користе се обичне пећи или калорифери. Загревање радних просторија у којима се при производњи издавају или користе запаљиве или експлозивне материје, без обзира на површину пода просторије, као и загревање просторија са површином пода преко 500 m², се изводи системом централног грејања (паром, топлом водом, топлим ваздухом).

10. Грејање, проветравање и отпашивање

Распоред грејних тела мора бити такав да се у радној просторији обезбеди равномерна температура. Температура на површини грејних тела не сме бити већа од:

- 130 °C - за радне просторије у којима се при раду не издвајају и не користе запаљиве и експлозивне материје, и
- 110 °C - за радне просторије у којима се при раду издваја прашина која није запаљива, експлозивна нити отровна.

Грејна тела морају бити обезбеђена против случајног додира. Површина грејних тела у радним просторијама у којима се при раду издваја прашина мора бити глатка.

Температура топлог ваздуха за загревање радне просторије (помоћу калорифера и сл.) не сме бити већа од 60 °C ако се ваздух доводи са висине веће од 3,50 m мерено од пода, односно већа од 30 °C ако се ваздух доводи са мање висине.

Систем централног грејања топлим ваздухом не сме се применити у радним просторијама у којима због повећања температуре и брзине струјања ваздуха може да дође до повећаног испаравања отровних материја.

10.2. Проветравање и отпашивање

Инсталације проветравања имају задатак да обезбеде погодни састав ваздуха у свим радним просторијама и да смање количину штетних гасова, пара и прашине у ваздуху производних одељења до концентрације дозвољене према одговарајућим нормама. У радним просторијама мора се предвидети природно или вештачко проветравање у зависности од врсте и јачине извора загађења.

Проветравање природним путем допуштено је само у оним радним просторијама у којима не долази до образовања и кондензовања водене паре. Природно проветравање се обезбеђује повременим отварањем прозора или кроз отворе за проветравање (слика 10-1 и 10-2) који омогућују континуални довод и одвод ваздуха под утицајем ветра, или разлике унутрашње и спољне температуре (слика 10-3). Потребно је напоменути да се уисни отвори за летње и зимске услове рада налазе на различитим висинама.

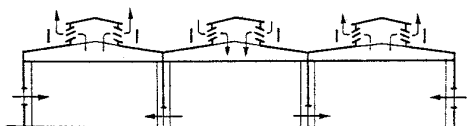
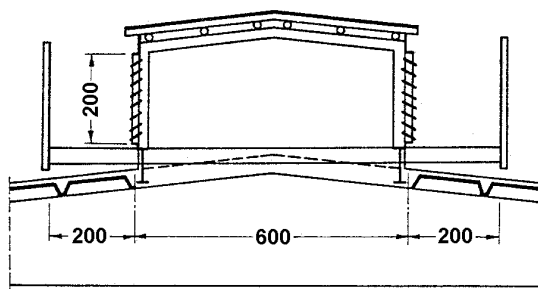
10. Грејање, проветравање и отпашивање

Таблица 10-1.

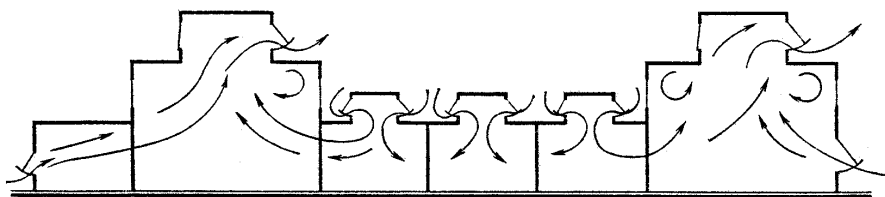
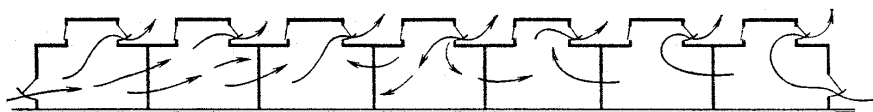
Радна просторија	Врста рада	Зимски и прелазни период (температура спољног ваздуха до 10 °C)						Топли период (температура спољног ваздуха преко 10 °C)					
		Оптимална			Дозвољена			Оптимална			Дозвољена		
		Температура у °C	Релативна влажност у %	Брзина струјања у m/s	Температура у °C	Релативна влажност у %	Брзина струјања у m/s	Температура у °C	Релативна влажност у %	Брзина струјања у m/s	Температура у °C	Релативна влажност у %	Брзина струјања у m/s
Мањи извори топлоте до 83,7 кJ/m ³	лаки	18 - 21		max 0,2	17 - 22		max 0,3	22 - 25					
	средњи	14 - 18	60 - 40	max 0,3	15 - 17	max 75	max 0,5	20 - 23	60 - 40	max 0,3	до 28	Видети напомену бр. 3	max 0,7
	тешки	12 - 14			13 - 15			17 - 20					0,5 - 1,0
Већи извори топлоте преко 83,7 кJ/m ³	лаки	18 - 21		max 0,2	17 - 24		max 0,5	22 - 25					max 0,7
	средњи	16 - 18	60 - 40	max 0,3	17 - 22	max 0,75	max 0,5	20 - 23	60 - 40	max 0,3			0,7 - 1,0
	тешки	14 - 16			14 - 17			17 - 20					1,0 - 1,5
Напомена: 1. Температура пода не сме бити већа од 25 °C, а температура таванице од 35 °C. 2. Температура, релативна влажност и брзина струјања ваздуха мере се на нивоу 1,20 m од пода. 3. Релативна влажност у %: при 28 °C max 35, при 26 °C max 60, при 24 °C max 65, испод 24 °C max 75.													

Таблица 10-2.

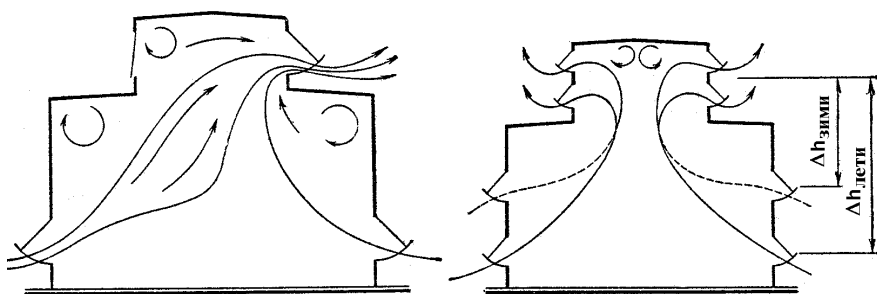
Назив просторије	Температура ваздуха у °C	Број измена ваздуха у току једног часа	
		Убацивање ваздуха	Избацивање ваздуха
Просторија за административне послове	18	1,5	1,5
Сала за одржавање састанака	16	3	3
Гардероба	16		1
Купатило	25		5
Умиваоница	16		1
Нужник	14		4 - 8
Просторија за личну хигијену жена	23		2 - 4
Трпезарија	20	3	3
Просторија за повремено загревање радника	20		2
Просторија за сушење, чишћење, дезинфекцију одеће и личних заштитних средстава	20	по прорачуну	



Слика 10-1. Проветравање хале природним путем



Слика 10-2. Проветравање радних просторија природним путем



Слика 10-3. Проветравање услед разлике температура. Положај усног отвора лето/зима
Величина отвора за проветравање се добија из следећег обрасца:

$$A = \frac{N \cdot V}{Q},$$

где је:

A - површина отвора у (m^2),

N - потребан број измена ваздуха у току часа; обично износи 6 - 30, за фабричке просторе минимум 3,

V - укупна запремина просторије у (m^3),

Q - проток ваздуха у ($\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{h}$).

$$Q = 420 \cdot \sqrt{h \cdot (t_u - t_s)}$$

где је:

h - висинска разлика улазног и излазног отвора у (m); (слика 10-3),

t_u - температура ваздуха у хали,

t_s - температура ваздуха околине.

Ваздух за принудно, централно проветравање радних просторија, односно ваздух за загревање којим се истовремено врши и проветравање просторија, не сме садржавати прашину, дим, штетне гасове, непријатне мирисе и сл. Отвори за довођење свежег ваздуха морају бити заштићени против продирања страних тела мрежом од жице, жалузинама и сл. Ако свеж ваздух није довољно чист, мора да се пре убацивања у просторију прочисти посебним уређајима (филтери, клима уређаји и др.).

Количина, чистоћа и расподела ваздуха који се убацује у радну просторију морају одговарати микроклиматским условима према нормативима из таблице 10-1 и допуштеним концентрацијама штетних испарења. Убацивање и избацивање ваздуха при вештачком проветравању радних просторија мора бити изведено тако, да концентрација загађења ваздуха у зони дисања радника не прелази допуштене границе прописане важећим стандардима о максимално допуштеним концентрацијама штетних гасова, пара, магле и прашине (**МДК**).

Ако су у радној просторији нормални микроклиматски услови, морају се вештачким проветравањем обезбедити следеће количине свежег ваздуха по запосленом раднику:

- 30 m^3/h - за просторије у којима на једног запосленог радника долази најмање 20 m^3 слободног ваздушног простора,
- 20 m^3/h - за просторије у којима на једног запосленог радника долази 20 до 40 m^3 слободног ваздушног простора, и
- најмање 40 m^3/h - за просторије које немају прозоре или друге отворе за проветравање.

Количина ваздуха потребна за вештачко проветравање радне просторије у којој због технолошког процеса рада владају ненормални микроклиматски услови (разна загађења, штетна испарења, висока температура, влага и сл.), одређује се зависно од степена загађења ваздуха, влаге, температуре и других штетних фактора, као и на основу норматива (таблица 10-1 и важећих

10. Грејање, проветравање и отпашивање

стандарда о максимално допуштеним концентрацијама штетних гасова, пара, магле и прашине (МДК). Количина ваздуха потребна за проветравање загађених просторија дата је изразом:

$$Q = \frac{G}{M_d - M_v},$$

где је:

Q - количина ваздуха која треба да се доведе, односно одведе из просторије (m^3/h),

G - концентрација штетних материја која се развија у току часа (mg/h),

M_d - дозвољена концентрација гаса у ваздуху (mg/m^3),

M_v - концентрација гаса у свежем ваздуху (mg/m^3).

У радним просторијама у којима се при технолошком процесу рада развијају непријатни мириси или могу настати запаљиве, односно експлозивне смеше потребно је, ради спречавања њиховог продирања у суседне радне просторије, притисак ваздуха снижити помоћу уисне вентилације.

Извори загревања ваздуха у радним просторијама морају се локализовати помоћу уређаја којима се загађени ваздух непосредно одсисава са места настајања. У табелици 10-3 су дата радна места, опрема и агрегати који морају да буду опремљени уређајима за извлачење ваздуха.

Одвођење из радних просторија прашине и паре која се лако кондензује, као и материја које саме или при мешању са ваздухом могу да стварају отровне, запаљиве и експлозивне смеше, односно хемијска једињења, се изводи посебним цевним водовима.

Таблица 10-3.

Фабрика (радионица)	Место локалног одсисавања
Индустрија прераде метала (машинска обрада, заваривање, термичка обрада итд.)	Брусилице, пећи за термичку обраду, апарати за заваривање, површинска заштита метала, одмашћивање, коморе за сушење, уређаји за чишћење сачмом, итд.
Процесна индустрија	Млинови, мешалице, вибрациона сита, дозатори, места на којима се пресипају суви растресити материјали, елеватори и отворени тракасти транспортери који преносе суве растресите материјале, коморе за сушење, тунели за хлађење итд.
Ливнице	Припрема песка, ливење, коморе за сушење, хлађење калупа, истресне решетке, хлађење одливака, чишћење одливака итд. /в. Зрнић и др. 1996/.

Пример шеме везивања уисних водова са постројењем за извлачење загађених гасова, пара и прашине, и филтерима за пречишћавање ваздуха, пре избацивања у атмосферу, дат је на слици 10-4.

Суви филтери се употребљавају само за отпашивање сувог прашњавог ваздуха (без влаге), иначе се влажан прах лепи на зидове врећа, тако да вреће више не пропуштају ваздух. Места у процесу где се појављује пара, прикључују се на водене филтере.

На слици 10-5 су дати примери извођења локалног одсисавања на појединим радним местима.

10.3. Заштита околине

У циљу заштите здравља становништва, животне средине и материјалних добара од штетног дејства загађеног ваздуха законом су одређени услови и мере за заштиту од загађивања ваздуха. При томе се загађеним ваздухом околине сматра ваздух у коме има штетних материјала изнад максимално дозвољене концентрације.

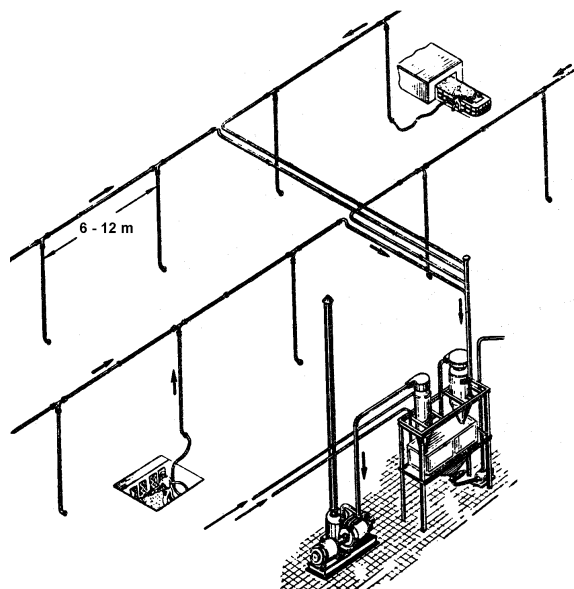
Загађивањем ваздуха сматра се испуштање, односно убацивање у ваздух гаса, паре, дима, прашине и других материја из појединих извора у количинама које могу загадити околину у тој мери, да штетно утичу на здравље становништва, животну средину и материјална добра.

Закон о заштити од загађивања ваздуха предвиђа да индустријски и други објекти не смеју испуштати штетне материје у количинама које ће концентрацију ових материјала довести изнад максимално дозвољених граница у ваздуху околине (таблица 10-4).

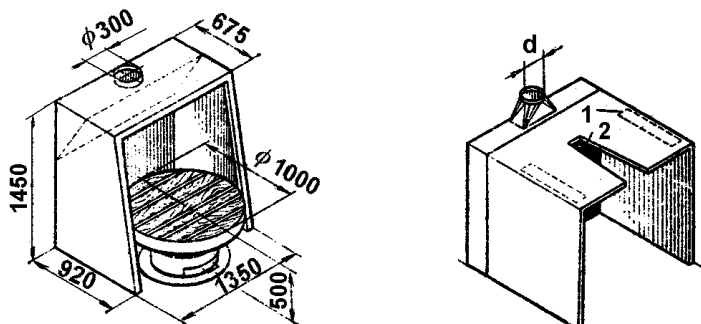
Треба напоменути да, пројектовање, изградња и реконструкција објеката и постројења која испуштањем штетних материја могу да загаде ваздух (индустријски и други објекти), као и уређаја за хватање и пречишћавање гаса, паре, прашине и других отпадних материја, подлеже примени овог закона.

Изградњи и реконструкцији наведених објеката може се приступити само ако техничка документација према усвојеном програму за изградњу, односно реконструкцију обезбеђује услове потребне за заштиту од загађивања ваздуха. Техничка документација за изградњу, односно реконструкцију објеката мора да садржи податке о врсти, обиму и ширењу штетних материја у ваздуху околине до којег ће доћи пуштањем објекта у рад.

10. Грејање, проветравање и отпришивање



Слика 10-4. Усисни водови са постројењем за извлачење загађених гасова



Слика 10-5. Локално одсисавање на радним местима.

Таблица 10-4.

Редни број	Материјал	Средња дневна концентрација у mg/m^3	Краткотрајна концентрација у mg/m^3
1	сумпордиоксид	0,15	0,5
2	чађ	0,05	0,15
3	олово	0,0007	-
4	оловосулфид	0,0017	-
5	арсен као неорганска јед.	0,003	-
6	угљен дисулфид	0,01	0,03
7	угљен моноксид	1	3
8	азотни оксид	0,085	0,085
9	флуоро водоник	0,005	0,02
10	оксиданси	-	0,125
11	пепео и интерна прашина до $300 \text{ mg}/\text{m}^3$ на дан		

Напомена: 1. концентрацијом се сматра садржај штетне материје у узорку ваздуха сакупљеном за најмање 24 часа,
2. краткотрајном концентрацијом сматра се садржај штетне материје у узорку ваздуха сакупљеном до 3 часа.

11. ВЕШТАЧКО ОСВЕТЉЕЊЕ

Поступак пројектовања општег осветљења је такав да на основу потребних вредности јачине осветљености у луксима (l_x) за разне врсте послова, таблица 11-1, одређујемо укупан светлосни флуks који морају да дају сијалице. При томе је потребно извршити избор типа сијалица и одредити број сијаличних места.

Приликом избора типа светилки треба обратити пажњу на следеће факторе:

- повољну расподелу светлости и погодност за унутрашњи простор који је у питању,
- ефикасност давања светлости,
- могућност одржавања почетне ефикасности и лакоћу периодичног чишћења и замене сијалица,
- могућност употребе веће сијалице ако затреба више светлости,
- солидност конструкције,
- коштање инсталације, рада и одржавања, и
- утицај одбијања светлости,
- утрошак електричне енергије.

Потребан светлосни флуks у луменима (l_m); где је l_m - светлосни флуks који у просторни угао од 1. стерадијана одашиље тачкасти светлосни извор чија је светлосна јачина у свим правцима простора једнака 1 кандела ($1 l_m = 1 c_d \cdot 1 s_r$):

$$F = \frac{E \cdot A}{\eta \cdot K},$$

где је:

E - средња осветљеност у луксима (l_x); $1 l_x = 1 l_m / 1 m^2$

A - површина пода просторије у (m^2),

11. Вештачко осветљење

η - коефицијент искоришћења осветљења,
 K - фактор одржавања светилке (в. таблице 11-4 и 11-5 за нормални програм чишћења и бојења, /Weigel 1974/, собни индекс се одређује према таблици 10-3.

Светлосни флукс по светилци (I_x):

$$F_1 = \frac{F}{N},$$

где је:

N - број светилки које ће се поставити.

Приликом одређивања броја светилки које се постављају, потребно је придржавати се препоручених норми за растојања између светлосних извора, тако да се на тај начин добија прилично уједначен осветљај на датој површини. Ови подаци су дати за разне типове светилки, у таблици 11-2 /Weigel 1974/. Уколико је потребно да се распоред сијалица саобрази просторијама и другим конструктивним елементима грађевине, могу се узети и мања растојања од препоручених.

Пре него што се приступи одређивању коефицијента искоришћења осветљења η , треба одредити собни индекс. Овај параметар зависи од величине просторије - дужине и ширине, висине извора светлости од пода и типа светилке (таблица 11-3).

Таблица 11-1.

Осветљеност за опште осветљење, мери се на хоризонталној равни на висини 1 m изнад пода, а за осветљење радног места на радној површини	Опште осветљење (I_x)			Осветљење радног места (I_x)
	Средња јачина осветљености		Јачина осветљења на најнеповољнијем месту	Јачина осветљења радног места
	Минимално	Препоручено		
За груби рад	20 (20)	40	10 (10)	50 - 100
За средњи рад	40 (30)	80	20 (15)	100 - 600
За фини рад	75 (40)	150	50 (20)	500 - 1.000
За врло фини рад	150 (50)	300	100 (30)	1.000 - 5.000
Напомена: - Вредности у загради важе само тамо где поред општег постоји још и локално осветљење радног места. - На радним местима у просторији где се лије, јачина општег осветљења мора да буде најмање 80 лукса, с тим да локално осветљење одговара нормама за осветљење таквих просторија. - Груби рад: ливење и чишћење лива, грубо ваљање и извлачење, ковање и сл. - Средњи рад: обичан рад на струговима и алатним машинама. - Фини рад: прецизни рад на струговима, пресама, монтажа, ваљање и извлачење. - Врло фини рад: гравирање, фина механика, обрада стакла, цртање, лабораторијски рад.				

Таблица 11-2.

Висина светиљке од пода (висина плафона за индиректне и полуиндиректне светиљке)	Одстојање за светиљке							
	Дифузне						Полуконцентричне	Концентричне
	Индиректне Полуиндиректне			Полудиректне Директне			Директне	Директне
	Између светиљки	Од зидова	Од плафона	Између светиљки	Максимално између светиљки	Од зидова	Максимално између светиљки	Максимално између светиљки
3,05	3,20	1,05	0,60 - 0,90	2,75	2,75	1,05	2,15	1,20
3,95	4,55	1,20	0,75 - 1,20	3,05	3,95	1,20	3,05	1,65
4,85	6,40	1,85	1,20 - 1,50	3,05	5,80	1,85	3,95	2,15
6,10 и више	7,90	2,15	1,20 - 1,85	3,50	7,30	2,15	5,35	2,75

Коефицијент искоришћења осветљења (η) је број који показује процентуално искоришћење светлосног флукса за добијање осветљења. Зависи од низа фактора: типа светиљке, процента флукса који упије сама светиљка, обраде и боје зидова и плафона, собног индекса и фактора одржавања. У таблицама 11-4 и 11-5 су дате вредности овога коефицијента за разне типове сијалица.

Таблица 11-3.

		Висина плафона (m)					
За полуиндиректно и индиректно осветљење		3,05 - 3,50	3,65 - 4,10	4,25 - 5,00	5,20 - 6,10	9,45 - 11,0	
		Висина од пода (m)					
За директно и полуиндиректно осветљење		2,45 - 2,60	2,75 - 2,90	3,05 - 3,50	3,65 - 4,10	6,40 - 7,30	9,45 - 11,0
Ширина просторије (m)	Дужина просторије (m)	Собни индекс					
3,05	3,05 - 4,25	Х	И	Ј	Ј	-	-
	6,10 - 9,15	Г	Х	И	Ј	-	-
	12,80 - 18,30	Ф	Г	Х	И	-	-
5,20	6,10 - 9,15	Ф	Ф	Г	Х	-	-
	12,80 - 18,30	Е	Е	Ф	Г	Ј	Ј
	18,30 - 33,50	Е	Е	Ф	Г	Ј	Ј
7,30	9,15 - 12,80	Д	Е	Ф	Г	Ј	-
	12,80 - 18,30	Д	Д	Е	Ф	И	Ј
	18,30 - 27,45	Д	Д	Е	Ф	И	Ј
11,00	18,30 - 27,45	Ц	Ц	Ц	Е	Х	Ј
	27,45 - 42,65	Б	Ц	Ц	Д	Г	И
	42,65 - 60,95	Б	Ц	Ц	Д	Ф	Х
15,25	18,30 - 27,45	А	Б	Ц	Ц	Ф	Х
	27,45 - 42,65	А	А	Ц	Ц	Ф	Г
	42,65 - 60,95	А	А	Ц	Ц	Е	Г
22,85	60,95 и више	А	А	Ц	Ц	Е	Г
	18,30 - 27,45	А	А	А	Б	Е	Г
	27,45 - 42,65	А	А	А	Б	Е	Ф
	42,65 - 60,95	А	А	А	Б	Д	Ф
22,85	60,95 и више	А	А	А	Б	Д	Ф

11. Вештачко осветљење

Таблица 11-4.

Светиљка са сијалицама са влакном и сијалицама са живом	Фактор одржавања (K)	Собни индекс	Коефицијент искоришћења (η)
Светиљка за високе просторије	0,70	J	0,40 - 0,36
		И	0,48 - 0,43
		X	0,51 - 0,48
		Г	0,55 - 0,51
		Ф	0,58 - 0,53
		Е	0,60 - 0,56
		Д	0,64 - 0,59
		Ц	0,65 - 0,60
		Б	0,54 - 0,61
Куполасти рефлектор	0,75	А	0,66 - 0,62
		J	0,37 - 0,28
		И	0,46 - 0,37
		X	0,50 - 0,43
		Г	0,54 - 0,47
		Ф	0,58 - 0,50
		Е	0,62 - 0,56
		Д	0,67 - 0,60
		Ц	0,69 - 0,62
		Б	0,72 - 0,62
		А	0,74 - 0,67

Таблица 11-5.

Флуоресцентне светиљке	Фактор одржавања (K)	Собни индекс	Коефицијент искоришћења (η)
Посребрена зделаста светиљка са плитким штитом	0,75	J	0,17 - 0,04
		И	0,21 - 0,06
		X	0,25 - 0,07
		Г	0,28 - 0,08
		Ф	0,31 - 0,09
		Е	0,35 - 0,11
		Д	0,39 - 0,13
		Ц	0,41 - 0,14
		Б	0,46 - 0,15
Рефлектор од сјајног метала	0,75	А	0,48 - 0,16
		J	0,40 - 0,36
		И	0,48 - 0,43
		X	0,51 - 0,48
		Г	0,55 - 0,51
		Ф	0,58 - 0,53
		Е	0,60 - 0,56
		Д	0,64 - 0,59
		Ц	0,65 - 0,60
		Б	0,65 - 0,61
		А	0,66 - 0,62

У табlici 11-6 су дате вредности светлосног флуksа у луменима за сијалице са усијаним влакном, живом и флуоресцентне сијалице.

Таблица 11-6.

Сијалица са усијаним влакном			
W	Тип	Број лумена	Век (часова)
50	220 - 230 В	480	1.000
75		700	
100		1.250	
150		1.800	
200		2.950	
300		4.850	
500		8.750	
750		13.500	
1.000		19.500	
Сијалице за живом			
100		3.500	1.000
250		7.500	2.000
400		16.000	2.000
1.000		65.000	1.500
Флуоресцентне сијалице			
15		495	2.500
20		730	2.500
30		1.200	2.500
40		1.700	2.500
65		1.800	2.000
100		3.350	2.000

12. СИТУАЦИОНИ ПЛАН

Ситуациони план представља распоред, у оквиру једне јединствене организационе целине, објеката високе градње, саобраћајница, енергетских постројења и разводних мрежа инсталација у зависности од места и конфигурације земљишта. Ситуациони план садржи:

- дужине појединих страна грађевинске парцеле;
- висинске коте постојећег земљишта и нивелације;
- регулационе и грађевинске линије и положај и спратност објекта;
- положај и бројеве суседних катастарских парцела и зграда, као и назив улице.

Редослед пројектовања обухвата две фазе:

- Идејно решење ситуационог плана - представља идеализовани оптимални распоред објеката, саобраћајница, енергетских и других постројења. Израђен је на основу функционалних зависности појединих објеката.
- Главни пројекат ситуационог плана - овај пројекат се ради на основу готових пројеката појединих објеката и постројења. Представља детаљно решење распореда појединих објеката са дефинисаним узајамним везама и односима између појединих објеката, саобраћајница, енергетских и других постројења.

Подаци неопходни за израду ситуационог плана:

- расположива величина терена,
- геодетски снимак терена,
- подаци о климатским и хидрометеоролошким условима,

12. Ситуациони план

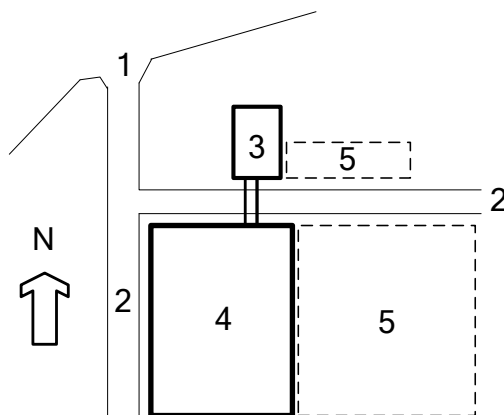
- подаци о геомеханичком карактеру земљишта,
- састав предузећа у погледу организационо-техничке структуре,
- општа шема технолошког процеса,
- количине материјала које се крећу кроз процес,
- величина свих објеката са назначеном наменом и општим карактеристикама,
- подаци о постојећим објектима у близини и могућности повезивања са њима,
- степен штетности и опасности физичко-хемијских еменација појединих фаза обраде и инсталација, и
- статичко-динамички утицаји машинског парка и транспортних уређаја.

Производни ток одређује распоред зграда на терену. Поједине зграде се постављају једна према другој по редоследу технолошког процеса. При томе треба водити рачуна да се што више скрате транспортни путеви. Растојање између зграда треба тако изабрати да се омогући добро осветљење и проветравање свих просторија. Најмања растојања су прописана грађевинским прописима. Приликом постављања ситуационог решења треба водити рачуна о могућности проширења фабрике (слика 12-1, /Neufert 1978/).

При размештању објеката у оквиру индустријског комплекса поједини објекти се групишу у зоне према технолошким карактеристикама и намени. Подела на зоне је неопходна да се обезбеди нормални ток производње добром организацијом простора и да се издвајањем одређених групација постигне потребна изолација појединих објеката и на тај начин се спрече непосредни узајамни утицаји.

Разликују се три основне зоне:

- производна зона - обухвата све радионичке просторе производних одељења и помоћних радионица и објеката, складишта и постројења која обезбеђују услове рада у оквиру ове зоне,
- енергетска зона - садржи објекте у којима се производи или прерађује енергија намењена за опслуживање производње и обезбеђење услова рада,
- зона пратећих служби - обухвата управу, техничке бирое, администрацију, припрему производње, гараже, амбуланте, ресторан итд.



Слика 12-1. Ситуациони план са предвиђеном површином за проширење фабрике
(1. улаз, 2. интерна саобраћајница, 3. управа, 4. производња, 5. површина за проширење)

Постоје три основна начина изградње индустријских комплекса /Дамјановић 1972/:

- Павиљонски систем (слика 12-2А)
- Блок систем (слика 12-2В),
- Мешовити систем (слика 12-2С).

Код павиљонског система све зоне су издвојене у посебне зграде. Објекти се постављају према технолошком процесу. Примењује се у тешкој машиноградњи, металургији, хемијској индустрији, итд. Издвајањем појединих радних средина у посебне објекте постиже се добра изолација и тако се спречавају сви непогодни међусобни утицаји - преношење буке, вибрација и потреса.

Радионички простори павиљонских комплекса су обично издуженог облика са релативно узаним пољима. Овај облик омогућује бочно увођење дневне светлости у радионички простор и обезбеђује ефикасно проветравање просторија. Код овог система обезбеђено је лако проширење сваке зграде понаособ не ометајући производњу.

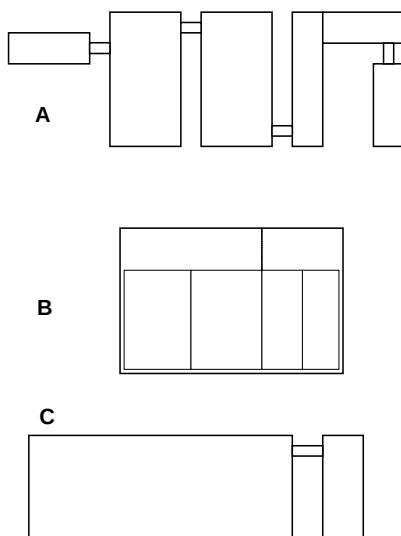
Основне карактеристике павиљонског система:

- захтева велику површину земљишта,
- мрежа инсталација је разграната и дугачка,
- неповољна организација транспорта и кретања људства, и
- отежан надзор и управљање производњом.

12. Ситуациони план

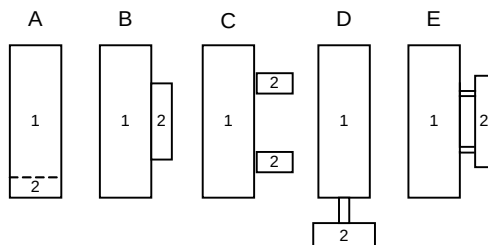
Код блок система изградње све зоне су смештене у једну компактну целину. Архитектонски посматрано то су велики приземни или спратни јединствени објекти. Основне карактеристике блок система:

- користи га првенствено лака прерађивачка индустрија,
- кратки транспортни путеви,
- рационално коришћење расположивог терена,
- за постављање блок система неопходни су равни терени,
- спољне комуникације између појединих одељења су искључене,
- отежана етапна изградња,
- повољан је када је потребно климатизовати средину, и
- олакшан надзор и управљање производњом, с обзиром да је цела производња смештена у јединствени простор.



Слика 12-2. Основни модели индустријских комплекса

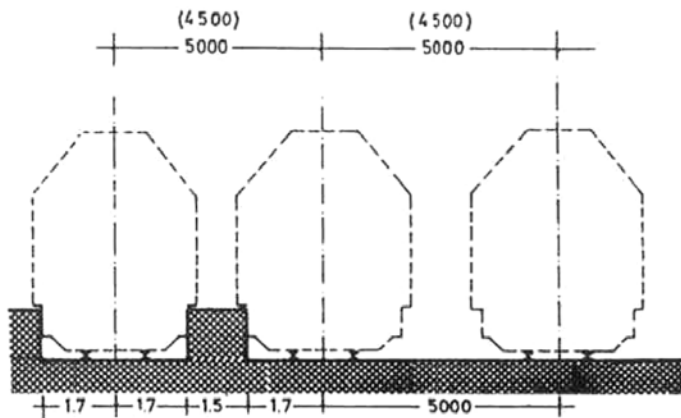
Мешовити систем је компромисно решење које треба да ублажи недостатке оба система и искористи њихове предности. Положај објекта пратећих служби у односу на производна одељења је приказан на слици 12-3.



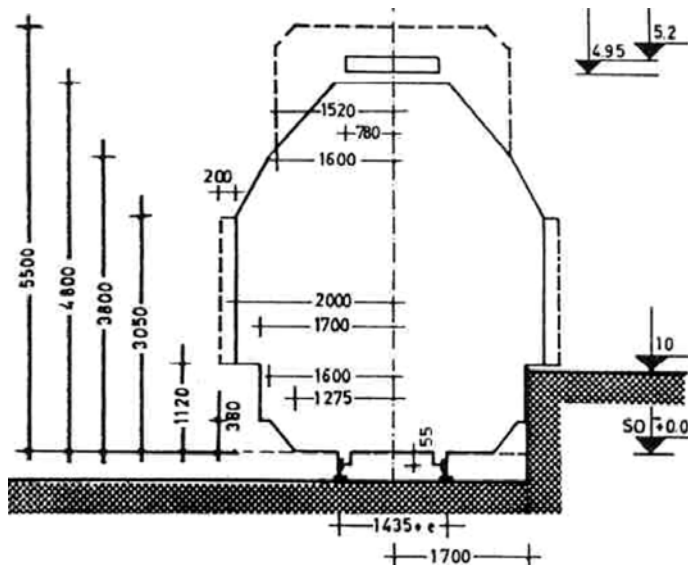
Слика 12-3. Положај објекта пратећих служби (производна одељења 1, пратеће службе 2)

12.1. Одређивање величине терена

Величина терена на коме се поставља фабрика одређује се у зависности од површине потребне за постављање зграда, пролаза, железничких колосека и других саобраћајница. Претходно је неопходно решити пројекат индустријских железничких колосека, зато што они обично заузимају много места услед великих радијуса кривина. Најповољније решење се добија када се зграде поставе под углом у односу на главни индустријски колосек. Често се један крак индустријског колосека уводи у халу, тако да се омогућује истовар вагона дизалицама. Простор потребан за постављање индустријског колосека /Neufert 1978/, дат је на сликама 12-4 и 12-5.



Слика 12-4. Простор потребан за постављање индустријског колосека



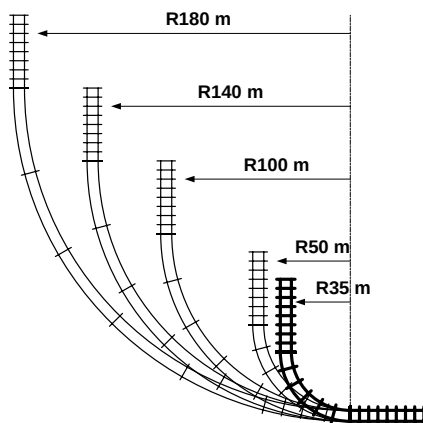
Слика 12-5. Габарит вагона

12. Ситуациони план

Најмањи полупречници кривина код железничких прикључака (пруге у индустријском комплексу - слика 12-6) износе:

- | | |
|--|-------|
| • по којима се крећу локомотиве са главне пруге | 180 m |
| • по којима се крећу вагони са осовинским растојањем мањим од 4,5 m и локомотиве за споредне пруге | 140 m |
| • по којима се крећу вагони са осовинским растојањем мањим од 4,5 m (маневарски колосек) | 100 m |
| • за маневарски колосек по коме се крећу вагони са две осовине, са осовинским растојањем 6,5 до 8 m | 50 m |
| • за маневарски колосек по коме се крећу вагони са две осовине са осовинским растојањем мањим од 6,5 m | 35 m |

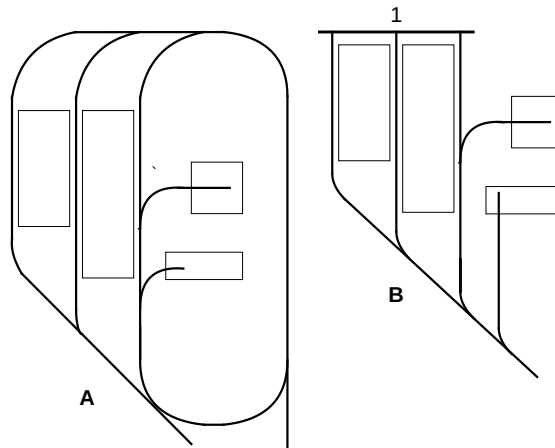
Угао скретнице - угао под којим се врши скретање са колосека износи: 1:12; 1:10; 1:9 или 1:7,5.



Слика 12-6. Најмањи полупречници кривина железничких прикључака

На слици 12-7 су дати примери извођења фабричких колосека са косим прилазом главног колосека, А са кружним шинама и Б са преводницом 1 /Neufert 1978/. Прилаз са преводницом захтева знатно мању површину терена. Поред железничких колосека и путеви знатно утичу на одређивање укупне површине терена за постављање фабричких хала и осталих помоћних зграда. Мрежа путева мора да буде функционална, економична и да омогућује перспективно проширење погона. Све зграде морају да имају изграђене прилазе. Предевиђена ширина путева у (m) износи:

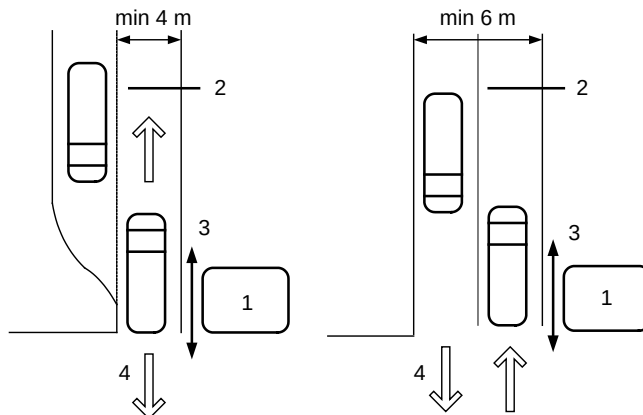
- | | |
|--|-----|
| • за једносмерни саобраћај | 4,0 |
| • за двосмерни саобраћај | 6,0 |
| • пешачке стазе, најмање | 1,2 |
| • пешачке стазе, обично | 1,5 |
| • пешачке стазе код интензивног саобраћаја | 2,0 |



Слика 12-7. Коси прилаз главног колосека (1. преводница)

Пример решења улаза у фабрику /Schmalor 1971/, за једносмеран и двосмеран саобраћај дат је на слици 12-8. Рампа је удаљена мин 14 m од улаза, да би се обезбедио простор за чекање и контролу возила. На слици 12-9 дат је потребан простор за паркирање теретних возила, а на слици 12-10 за маневрисање и паркирање тегљача (све мере су дате у метрима). На слици 12-11 дат је простор за паркирање путничких возила. На сликама 12-12 до 12-14 су дати најмањи полупречници кривина и неопходан простор потребан за окретање теретних возила.

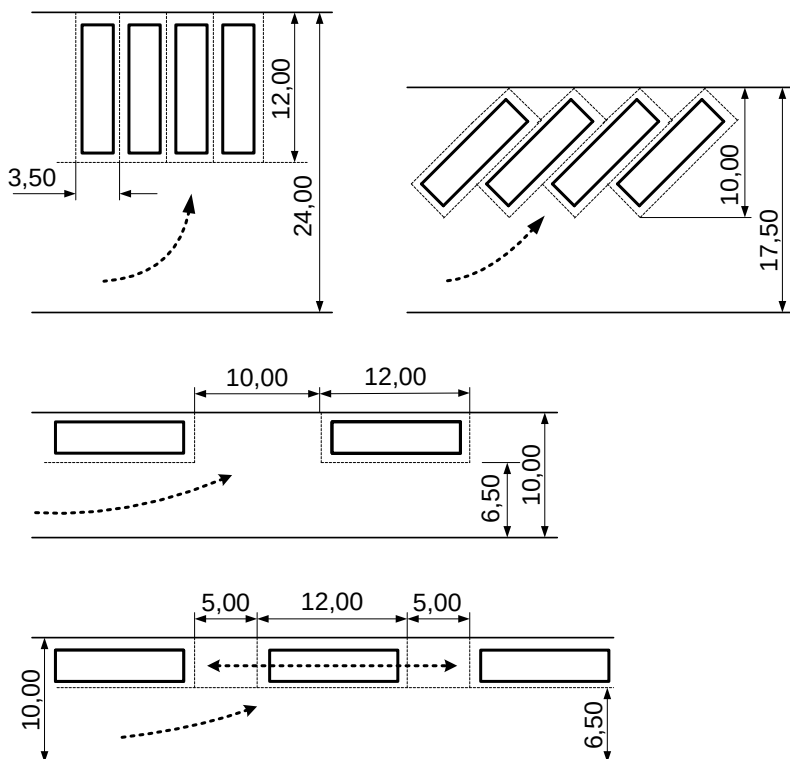
На слици 12-15 су приказана различита решења рампи за истовар камиона. На слици 12-16 је дато решење унутрашње рампе за истовар/утовар (палетизованог и непалетизованог терета) камиона. На слици 12-17 приказан је изглед комбиноване рампе за истовар/утовар камиона и вагона (све мере су дате у метрима).



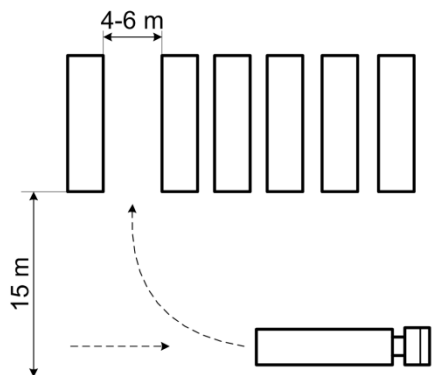
Слика 12-8. Улаз у фабрику, за једносмеран и двосмеран саобраћај
(1. вратар, 2. рампа, 3. пролаз за пешаке, 4. пролаз за возила)

12. Ситуациони план

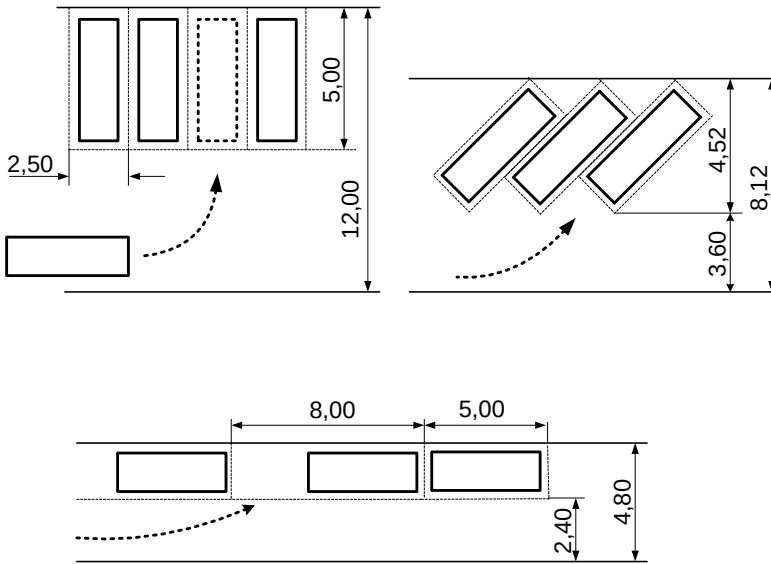
На слици 12-15 су приказана различита решења рампи за истовар камиона. На слици 12-16 је дато решење унутрашње рампе за истовар/утовар (палетизованог и непалетизованог терета) камиона. На слици 12-17 приказан је изглед комбиноване рампе за истовар/утовар камиона и вагона (све мере су дате у метрима).



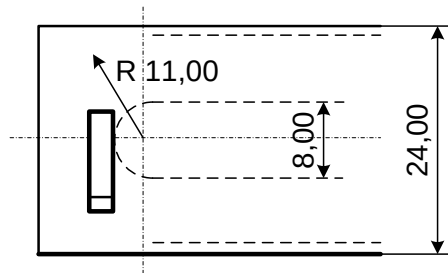
Слика 12-9. Потребан простор за паркирање теретних возила



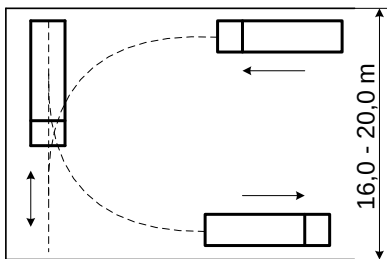
Слика 12-10. Простор потребан за маневрисање и паркирање тегљача



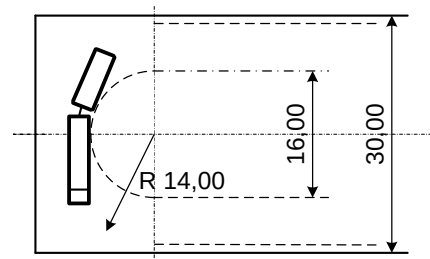
Слика 12-11. Потребан простор за паркирање путничких возила



Слика 12-12. Неопходан простор за окретање камиона



Слика 12-13. Простор потребан за маневрисање и паркирање камиона



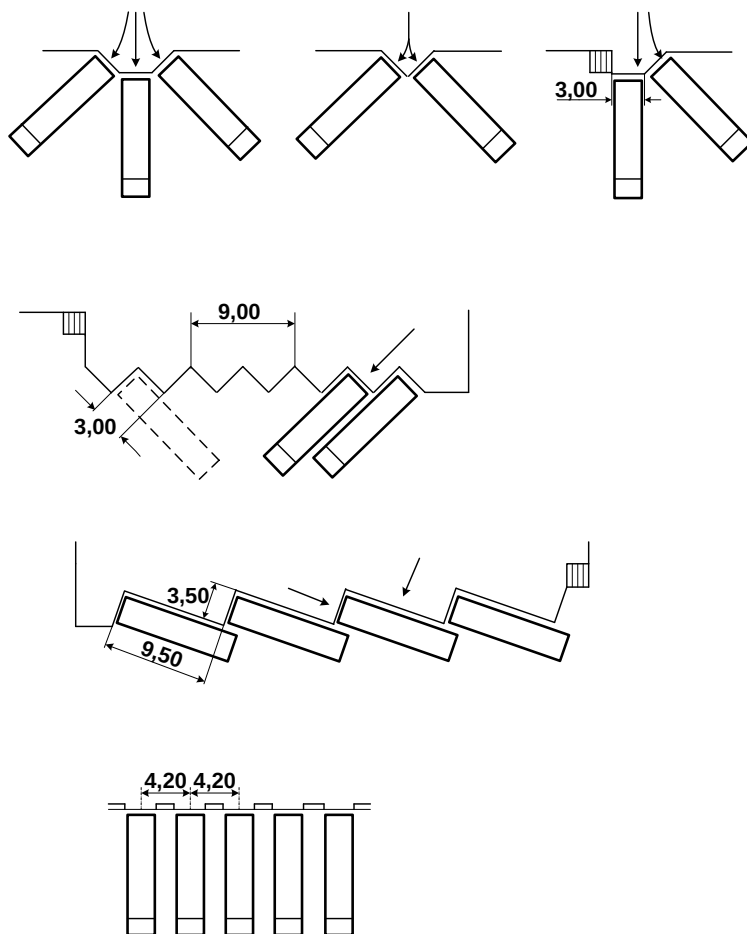
Слика 12-14. Простор потребан за окретање камиона са приколицом

При размештају објеката у оквиру датог индустријског комплекса посебну пажњу треба обратити на минимална одстојања (L_{min}) од суседних зграда која су условљена правилним увођењем дневне светлости у радионичке и друге просторе:

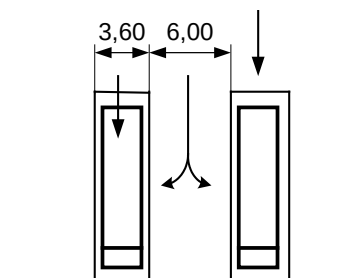
$$L_{min} = 2H,$$

12. Ситуациони план

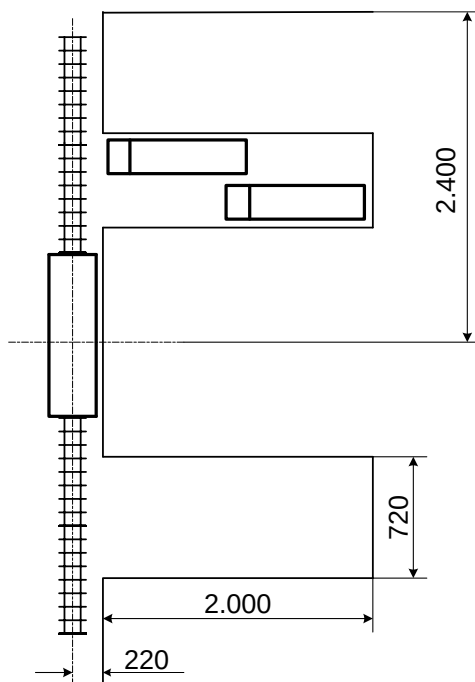
где је (H) висина вишег објекта. У литератури је препоручено да ово одстојање не буде мање од 20 m. Оријентација појединих зграда према странама света се изводи у зависности од намене датог простора, водећи при томе рачуна о захтевима природног осветљавања просторије и заштите радних места од прекомерног хелиотермичког дејства.



Слика 12-15. Рампе за истовар камиона



Слика 12-16. Унутрашња рампа за истовар/утовар камиона



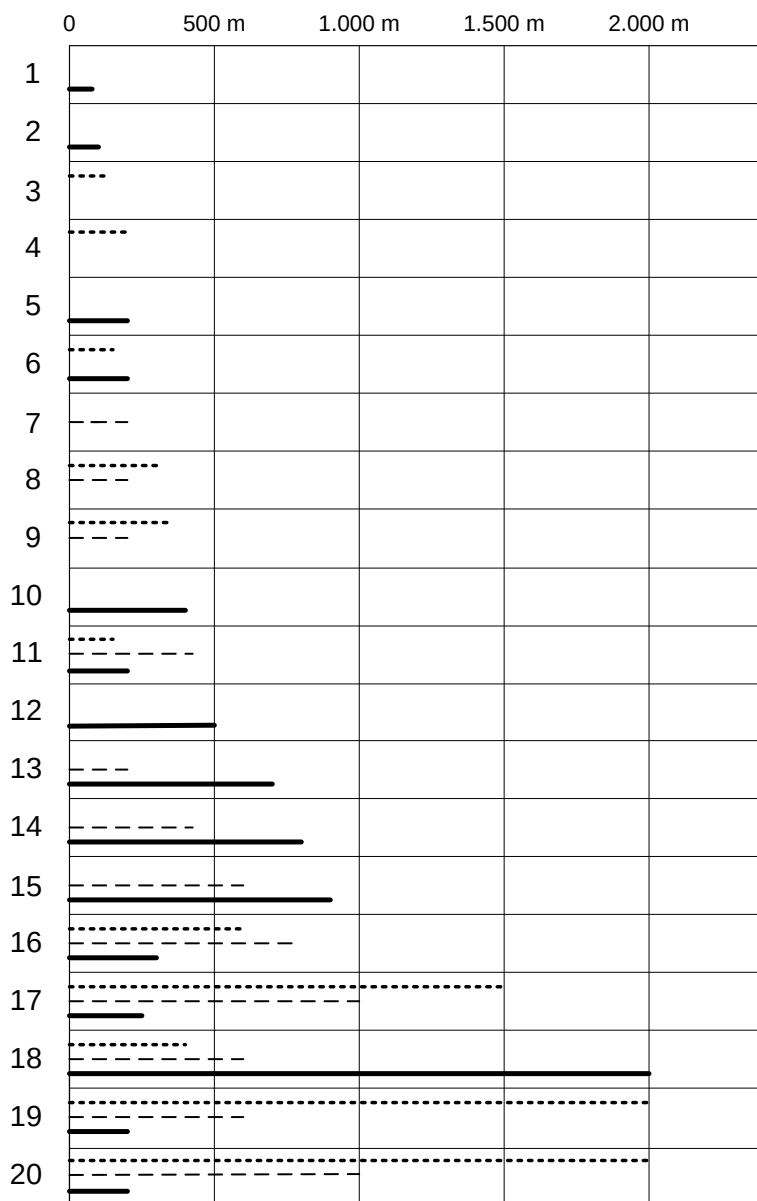
Слика 12-17. Комбинована рампа за истовар/утовар камиона и вагона (мере у cm)

12.2. Положај датог објекта у односу на друге зграде индустријског комплекса

Постављање индустријских објеката у којима се развијају утицаји штетни по околину зависи од низа фактора (врсте индустрије, производног програма, обима производње, примењене технологије, опреме итд.) и количине штетних физичко-хемијских еманација (гасови, пара, прашина, бука, потреси, вибрације, мириси итд.). Зграде ових погона треба поставити "низ ветар" у односу на зграде других радионица, а код потреса и вибрација обезбедити довољно одстојање да се ови утицаји елиминишу. Правци доминантних струјања ветрова се добијају из тзв. "руже ветрова".

При постављању погона у којима се развијају штетне физичко хемијске еманације у близини насељених места треба водити рачуна о санитарно-заштитној зони да би се спречило загађивање. Величина ове зоне се одређује у зависности од програма и обима производње. Преглед радијуса допирања штетних утицаја индустрије на околину према Reichow /Дамјановић 1972/ је дат на слици 12-18.

12. Ситуациони план



ЛЕГЕНДА:

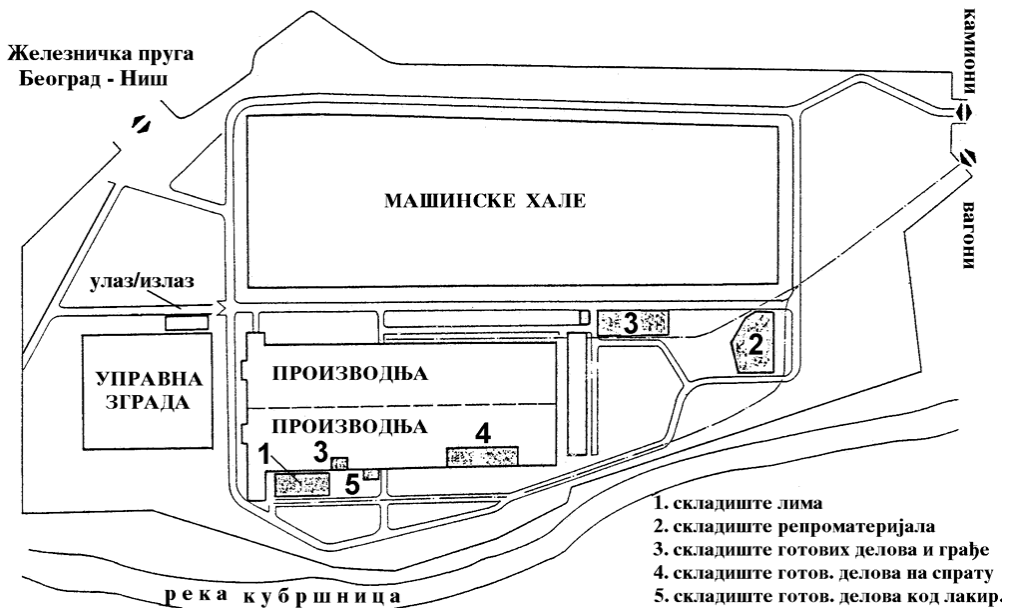
- | | | | | |
|--------------------------|--------------------------|----------------------|------------------------------------|-----------------------------------|
| 1. Ауто ремонт, | 2. Фабрика грејних тела, | 3. Пиваре, | 4. Ливнице лаких метала, | 5. Фабрика пољопривредних машина, |
| 6. Фабрика аутомобила, | 7. Циглане, | 8. Фабрика боја, | 9. Прерада рибе, | 10. Фабрика зупчаника, |
| 11. Ливнице, | 12. Фабрика котлова, | 13. Фабрика цемента, | 14. Фабрика челичних конструкција, | 15. Бродоградња, |
| 16. Фабрика акумулатора, | 17. Фабрика гуме, | 18. Фабрика мотора, | 19. Фабрика целулозе и хартије, | 20. Фабрика минералних уља |

Слика 12-18. Радијус штетних утицаја индустрије на околину. Ознаке на дијаграму:
 мириси, ---- дим, гар и прашина, — бука и потреси

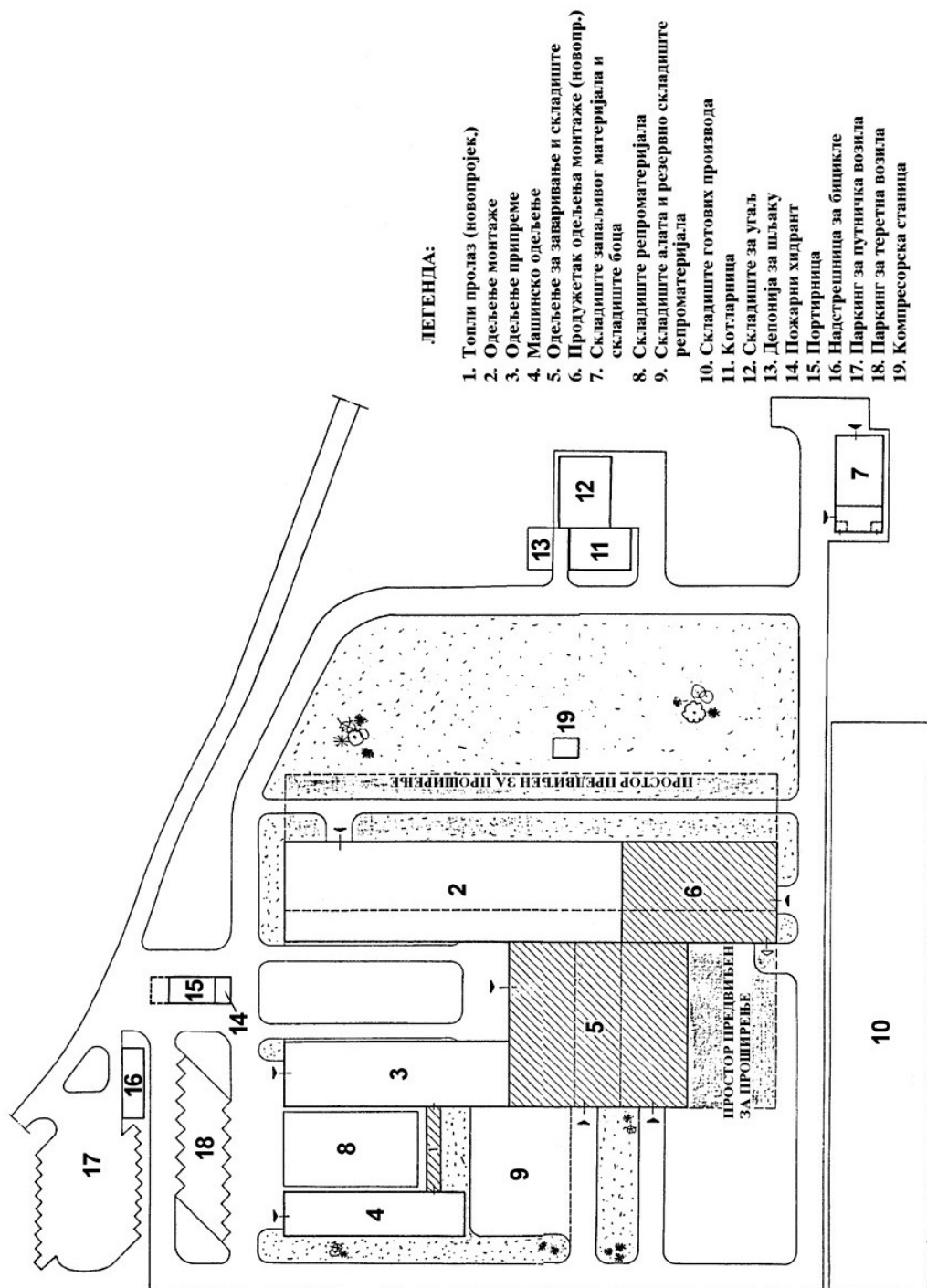
12.3. Примери

На слици 12-19 је дат пример ситуационог плана фабрике са назначеним складиштима репроматеријала, готових делова и грађе. Ситуациони план представља део пројекта реконструкције поменутих складишта и решења међупогонског транспорта. На слици 12-20 је приказан ситуациони план фабрике пољопривредних и камионских приколица /Зрнић и др. 1983, 1984/. Ограничење при избору решења су представљале постојеће хале (2, 3 и 4). Шрафирана површина (5 и 6) означава положај новоизграђених хала.

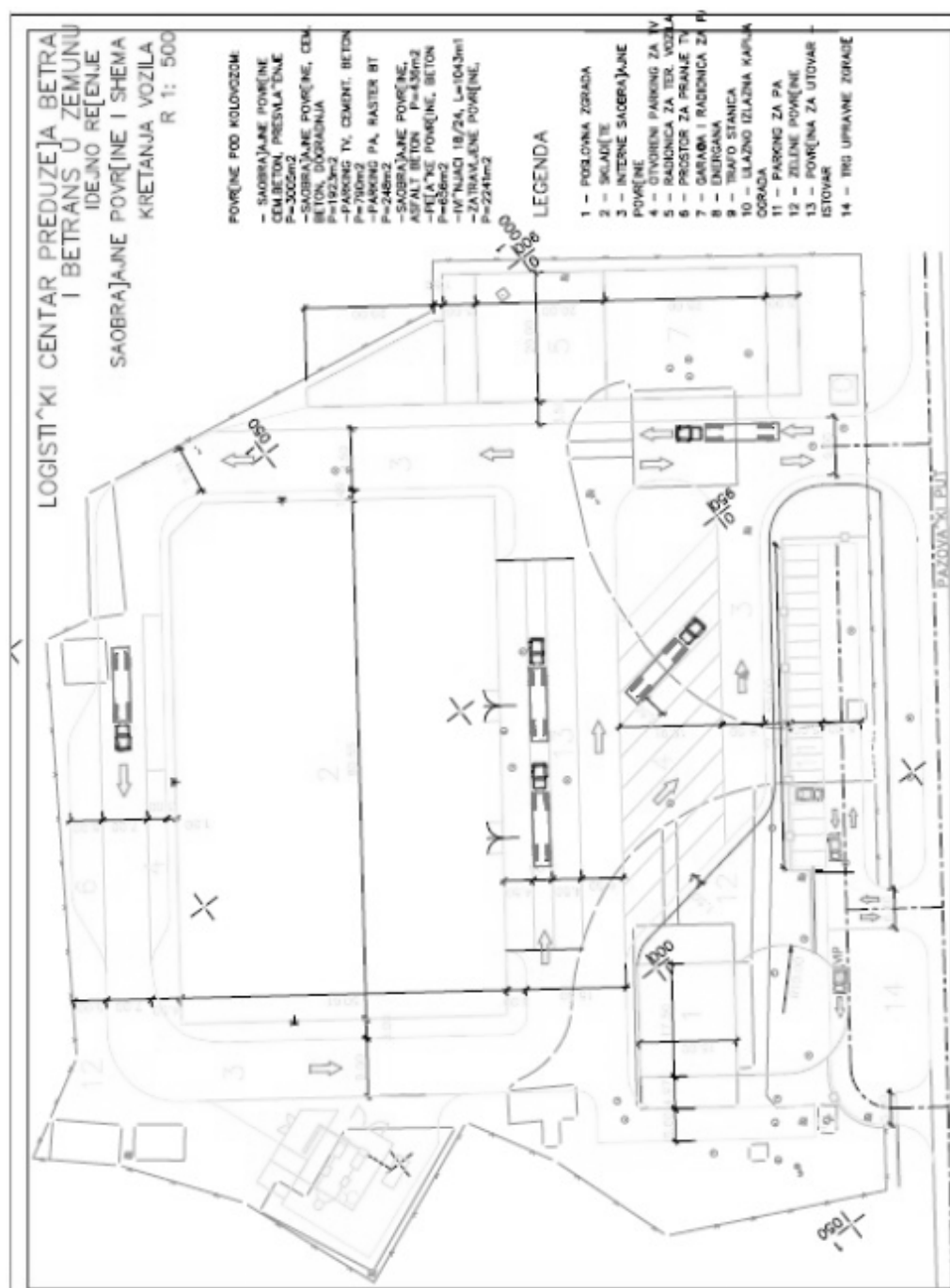
Ситуациони план Логистички центар БЕТРА и БЕТРАТРАНС у Земуну /Зрнић и др. 2001/, дат је на слици 12-21, а на слици 12-22 приказане су саобраћајне површине и шема кретања возила.



Слика 12-19. Ситуациони план фабрике са назначеним складиштима

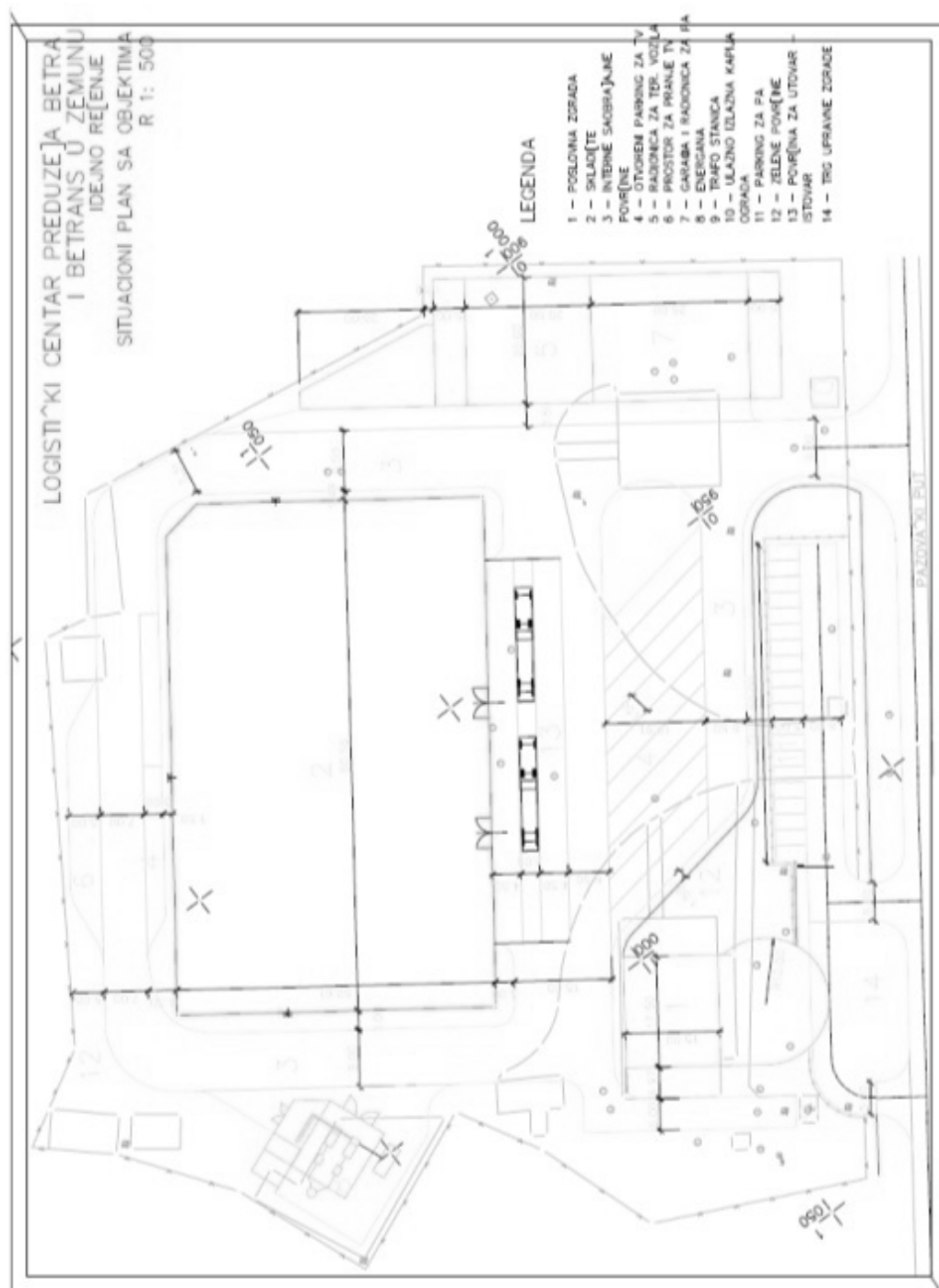


Слика 12-20. Ситуациони план фабрике пољопривредних и камионских приколица



Слика 12-21. Ситуациони план Логистички центар БЕТРА и БЕТРАТРАНС у Земуну.

12. Ситуациони план



Слика 12-22. Логистички центар БЕТРА и БЕТРАТРАНС у Земуну, саобраћајне површине и шема кретања возила

13. СКЛАДИШТА

Процес складиштења представља низ транспортних, претоварних и помоћних операција које се одигравају једна за другом ради држања, чувања и заштите робе која се складишти у одређеном простору који се назива складиште. Складиште омогућава синхронизацију токова различитих времена трајања појединих операција рада, појаве стања отказа система и пројектованих стања чекања - стварање редова чекања, Складиште се може посматрати као део система (или систем) у којем се роба држи, чува и заштићује све до момента када се иста потражује. Складиште обухвата робу (материјал) која се складишти, уређаје за складиштење, транспорт и претовар, радну снагу, као и неопходни простор у коме се обавља процес ускладиштења. Обезбеђује захтевани проток материјала и информација и осигурава вођење, планирање и динамику процеса. Процес складиштења треба схватити као динамички процес, са променама разних стања система у времену и простору.

Складиште испуњава две значајне функције у техници тока материјала: временско премошћавање и сортирање, где су под сортирањем заједнички обухваћени акумулација, расподела и формирање залиха. При томе је временско премошћавање основно и неопходно, а сортирање може да настане као додатна функција.

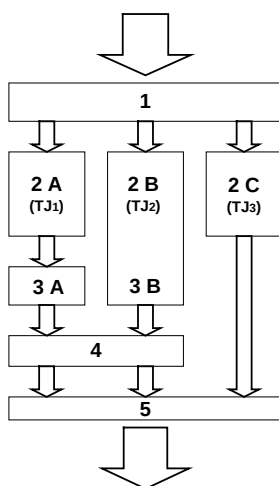
Да би се разматрао проблем пројектовања складишта, неопходно је дефинисати практичне границе у оквиру којих ће се посматрати систем и анализирати трошкови. Као улаз у систем се узима место где се роба истоварује из уређаја који довози робу укључујући активност истовара. Излаз из система дефинише место где се роба отпрема, односно где се роба утоварује у уређај спољног транспорта, који одвози робу, укључујући активност утовара. За даљу анализу складишног система потребно је поставити функције улаза у систем и излаза из система, зависно од укупних кретања материјала.

13. Складишта

Складишни систем може да се посматра као микро-дистрибуциони систем. Специфична идентификација главних активности складишног система, помаже разумевању система као целине и припремању базе за стварање пројектних алтернатива. Функција складиштења обично садржи следеће активности: пријем, идентификацију и сортирање, отпрему до места складиштења, постављање у складиште, складиштење, припрему робе за дистрибуцију (комисионирање), паковање, утовар и отпрему, документацију, информације итд.

На бази поделе складишних активности формиран је општи модел целокупног процеса складиштења. Овај модел је приказан у облику дијаграма тока материјала на слици 13-1. Основне складишне функције су симболизоване блоковима, а величине кретања стрелицама. Величине блокова и дебљине стрелица могу да служе као квантитативна размера. Одређивање величина блокова и стрелица је диференцирано према типовима транспортних јединица (TJ_1 , TJ_2 и TJ_3). Miebach /1971/ предлаже и даљу поделу блокова, на пример код главног складишта, на артикле са великим и малим обртом или код сортирања, на велике, средње и мале наруџбине.

Овај модел омогућава да се све основне функције раздвоје и поделе на пет основних подручја: пријем (1), главно складиште (2), комисионирање и сортирање (3), паковање (4) и отпрема робе (5), и да ток материјала иде из једног подручја у друго. Ток материјала у хоризонталном правцу није могућ. Подела на пет основних подручја је основа за формирање подсистема једног складишног система. Даља подела у оквиру једног подручја (А, В и С), која утиче на формирање појединих подсистема, зависи од обрта појединих артикала и броја различитих транспортних јединица (TJ_1 , TJ_2 , TJ_3) у оквиру складишног система.



Слика 13-1. Основне складишне функције (1. пријем, 2. главно складиште, 3. комисионирање и сортирање, 4. паковање, 5. отпрема)

Потребно је напоменути да наведена подручја система нису у потпуности заступљена у свим складиштима: понекад нису присутне поједине функције (**TJ₃** улази у главно складиште у истом облику у коме га напушта, значи нема трансформације), или су тако постављене да су у склопу других подручја система (**TJ₂**, комисионирање се обавља у главном складишту). Ово је у сагласности са постављеном дефиницијом система, пошто се поједина подручја система строго не ограничавају на одређене функције.

Активности складишног система, искључујући трошкове држања залиха, апсорбују велике трошкове и потребно је да се пажљиво разматрају. Поједине активности ће се анализирати према раније извршеној подели на подсистеме.

13.1. Пријем

Укључује све активности обухваћене у прихватању производа који се складишти:

- Истовар уређаја којима се довозе производи (делови, материјал); начин истовара зависи од типа уређаја, масе и габарита терета, транспортне јединице, типа средстава којима се обавља истовар и расположивог времена за истовар; физички рад на истовару возила треба да буде координиран са провером документације која је приложена и контролом терета. Понекад се захтева и квалитативна контрола производа.
- Анализу документације у сврху планирања доласка, локације за складиштење, приоритета пријема, времена истовара итд.
- Идентификацију и сортирање производа; ова функција се бави првенствено анализом шта је примљено и одлучивањем где роба треба да се ускладишти; обухвата контролу документације, физичку проверу робе према документима, проверу количине која је стварно стигла, сортирање робе за улаз према локацијама, локалну идентификацију позиције и паковање ако је потребно.
- Палетизацију/депалетизацију робе.

Подручје улаза испуњава задатак пријема робе и припрему робе за ускладиштење. Ови поступци су у пракси увек везани са извесним задржавањем робе и поступком сортирања, али при томе треба напоменути да су временско премошћавање и сортирање робе увек подређене функције у пријему робе. Циљ оптималног постављања подручја пријема робе је да се роба задржава толико кратко, колико је то могуће да се спроведе. У идеалном случају робу треба допремати у подручје пријема у стању погодном за складиштење (транспортна јединица је једнака складишној јединици), тако да је могуће остварити минимално задржавање робе у овом подручју.

Прихватање робе је први важан корак тока снабдевања на складишту. На основу доставница, прималац упоређује товарни лист са обавештењем. У случају позитивне провере подаци треба само да се потврде. Док у малим складиштима прихватање робе и пријем могу бити у физичкој близини, због просторног одвајања у већим системима, долазећи камиони морају да буду усмерени и додељени истоварним рампама (капијама). Одвајање углавном има за циљ бољу контролу дворишног транспорта, координиран саобраћај и минимизирање непотребног тражења локације за истовар. Код ванредних испорука, посебно већих пошиљки, планира се међускладишни простор на пријему.

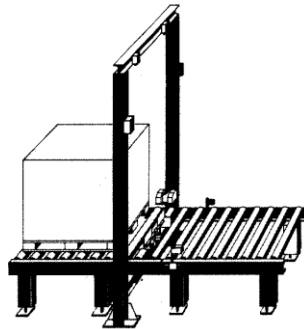
Пријем робе После поређења наручене и долазне робе, пошиљка иде на физичку проверу, односно, контролу врсте и количине робе. Инспекција може да буде визуелни тест, лабораторијски тестови узорака или потпуна контрола. Неисправна роба се означава са етикетом блокирања и ставља у посебну област или складиште. Код појаве нових пошиљки основни подаци о роби морају да се комплетирају. Ови подаци су неопходни за низ контролних функција и оптимизацију тока материјала. Тачна маса и димензије артикала треба да се знају због комисионирања. Посебно код примене робота су неопходни ови подаци ради провере могућности процеса захватања.

Врста робе и њене карактеристике директно утичу на примењену технологију истовара средстава спољног транспорта, њено разврставање и постављање у пријемном одељењу и даљу отпрему у складиште. Појавни облик робе представља главно обележје, са скупом карактеристика које одређују начин реализације процеса руковања робом. Терет који се транспортује (врста материјала) се разврстава у следеће категорије: коадни, расути, прах, течност и гас. Својства материјала који се транспортује су дата у поглављу 5.4.2. У поглављу складишта ће се разматрати само коадна роба (терет), пошто чување и транспорт расутог терета, праха, течности и гаса захтева примену посебне технологије, наравно уколико су наведени терети упаковани у одговарајућу амбалажу припадају групи коадних терета.

Асортиман коадне робе (артикала) је веома широк, разликује се по маси, облику, димензијама, саставу итд. У процесу дистрибуције коадна роба се појављује у облицима који су погодни за манипулацију, транспорт и складиштење, као пакети, вреће, бале, бунтови, палете или контејнери различитих облика. Сви наведени облици су прилагођени разним начинима кретања кроз процес и чувања до преузимања од крајњих потрошача. Поједини артикли се појављују у изворном облику веома ретко, обично код дистрибуције појединих делова машина и опреме које је немогуће преносити у расклопљеном стању.

Код допремања палетизоване робе, транспортне јединице (**ТЈ**), палете често могу да се директно из одељења пријема уносе у складишни простор. Са гледишта манипулације тај случај је најповољнији, јер **ТЈ** постаје складишна јединица (**СЈ**), значи нема претовара робе. Ово је обично присутно код мањих складишта и са висином ускладиштења коју могу да достигну виљушкарски који се користе на истовару. Код високорегалних, посебно аутоматских складишта неопходно је извршити препакивање на специјалне палете. Роба која долази у пакетима или судовима (најчешће пластичним), мора да се палетизује, односно да се изврши укрупњавање терета у циљу лакшег манипулисања

Одређивање димензија транспортних јединица је неопходно за оптимизацију запремине појединих јединица које се користе дуж тока материјала. Регали високорегалног складишта могу се прилагодити рангу **ТЈ**, променом висине полице, тако да се оптимизира искоришћење складишних капацитета. Димензије артикала се додатно мере, или код неких складишта се задовољава грубом класификацијом у групе различите величине. За ову намену често се користе шаблони које носе ознаке за категорије одговарајуће величине. Осим тога, постоје и аутоматски мерни уређаји који скенирају артикал и преносе измерене димензије до система управљања складиштем (слика 13-2). Стална контрола и следљивост захтева функција, поред описа робе и артикала, обухвата и посебне транспортне јединице, пошто треба документовати и њихово кретање у складишту. Да би се избегло кварење робе са ограниченим веком трајања, потребно је снимање рока трајања или време до истека. Ови параметри могу да послуже као основа за приоритете претраживања или трансфера робе.



Слика 13-2. Уређај за скенирање габарита (DEMAG)

Избор транспортних јединица. У складиштима и системима тока материјала специјална утоварна средства се користе за руковање, понекад и из разлога безбедности и здравља на раду. То су између других, складишне касете, полице или регали са стандардизованим контејнерима или палетама. Роба се пуни у **ТЈ** оптимизиране према маси и запремини, које одговарају систему тока материјала, са циљем да се смање трошкове слања и транспорта. Исто важи и за јединице на стандардним палетама (нпр. Еуро или индустријске палете).

13. Складишта

Међутим, често, квалитет достављених јединица не одговара аутоматским системима, попут високорегалних складишта. Оштећене палете, могу да се заглаве у појединим деловима конвејера, па је потребно робу препаковати на складишне јединице.

Уколико је обим робе много мањи него расположива минимална запремина складишта (нпр. полица или регал), формирају се обично мешовите палете, за боље искоришћење складишног простора. Ово је од посебног значаја за систем управљања складиштем. Складиштење артикала веома различитих карактеристика није једини проблем. Када је роба враћена, треба водити рачуна да се само одређени артикли узимају из мешовите палете. Мора се избећи да број делимично испражњених палета постаје велики, пошто то може да захтева препакивање. Посебан проблем је руковање повратном робом од стране купца, код "online" наручивања (стопа повратка може бити до 30 % од испорука). Будући да се не зна квалитет појединих артикала, све враћено се мора пажљиво проверити /Walmart/. Поједини повратни делови се морају очистити, препаковати и означити, што захтева значајну количину људског рада. Враћена роба се чува на палетама за јединичне позиције и складишти у посебним локацијама. Повратне наруџбине морају се проверити, пре транспортовања у подручје отпреме.

Важан аспект је транспарентност снабдевања, у целокупном систему тока материјала. Идентификација се обавља током пријема робе. У ту сврху се проверава да ли артикал и количина одговарају **ТЈ** и да ли су основни подаци доступни. Истовремено материјал тока се синхронизује са током информација. Провера димензија артикала која се складиште и по потреби, контрола масе, показују могућност ускладиштења. Први корак захтева да се роба складишти је одређивање складишне јединице. Ово се обавља према критеријумима који су резултат складишних операција, безбедности и здравља на раду и законских захтева (таблица 13-1).

Таблица 13-1. Неки важни параметри складишних контејнера (**ТЈ**)

ПАРМЕТРИ	ЗАХТЕВИ
Технички захтеви	Дозвољено оптерећење регала и пода Избегавање несиметричног оптерећења, посебно код проточних система Оптимално искоришћење запремине регала Компатибилност са токовима робе
Оперативна оптимизација	Минимизирање кретања и транспорта Максимизирање обрта Максимална искоришћеност складишних капацитета Сигурност приступа у случају неуспелог транспорта појединих јединица или кvara радних уређаја Брза детекција и идентификација робе код мануелних система
Безбедности и здравље на раду и законска регулатива	Поштовање принудних ограничења (складиштење опасне робе) Посебна складишта или простор (храна) Груписање у серије

Посебну пажњу при пројектовању овог подручја треба посветити када је присутан процес **Cross-Docking (CD)**. Ово је логистички термин који означава праксу да се из долазне пошиљке (камиона, вагона итд.), са мало или без складиштења претоварује роба и одмах отпрема средствима спољног транспорта (камионима, вагонима итд.).

13.1.1. Фронт претовара

Код пројектовања фронта претовара треба дефинисати начин на који се роба довози (железница, друмским превоз или воденим путем). По правилу свако складиште има претоварни фронт за друмска возила. Потреба за железничким транспортом зависи од тога да ли се роба прима и отпрема из складишта у количинама које оправдавају примену овог вида транспорта. Такође, потребно је испитати да ли на датој локацији постоји могућност реализације везе за шински транспорт. Дужина фронта претовара директно зависи од динамике наиласка возила спољног транспорта, количине робе која се превози и капацитета механизације која треба да обави претовар. Број возила спољног транспорта који се једновременно налази на претовару одређује дужину фронта пријемног одељења

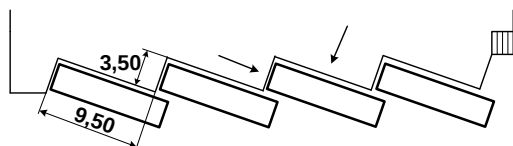
Облик фронта претовара зависи од карактеристика возила спољног транспорта, броја места за претовар и димензија складишног објекта. Суштинско питање везано за облик фронта претовара, код примене виљушкара је, да ли на овом одељењу треба предвидети рампу или не? Рампа по правилу повећава цену складишног објекта због подизања нивоа пода складишта. Тешко је дати једнозначан одговор, који зависи од врсте возила спољног транспорта и примењене механизације на истовару.

Виљушкари могу да функционишу и без рампе на фронту претовара уколико су возила спољног транспорта прилагођена таквом истовару/утовару. Пошто се ове операције најцелисходније обављају када у њих уђе виљушкар, данас се на местима где постоји веза са железницом, фронтови претовара углавном граде са рампама. Код друмских возила истовар и утовар транспортних јединица без рампе је могућ са бочних страна возила. Код малог интензитета довоза/одвоза ови проблеми се могу решавати и применом покретних рампи.

Дужина претоварне рампе код друмских возила зависи од броја претоварних места (врата) на фронту претовара. Ова врата имају стандарну ширину и лако се одређује дужина претоварног фронта. Тип вагона и њихов број одређују дужину фронта код железничког транспорта. Технологија претовара предвиђа да се вагони повремено померају ради манипулације и отпреме, што изазива прекиде у раду. Услед тога се уз радне колосеке поставља један паралелни колосек за маневрисање.

13. Складишта

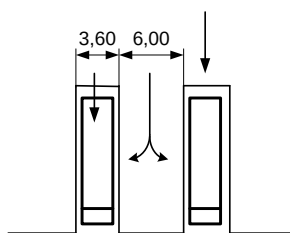
Фронтови претовара могу да буду изведени као зупчasti или равни (слике 13-3 и 13-4), такође могу да се изводе као унутрашња рампа, када возила, управно на објекат, улазе унутра (слике 13-5 и 13-6). Зупчasti се примењује када нема довољно простора за маневар возила спољног транспорта, али је неповољан за искоришћење простора у складишту. Раван фронт претовара омогућава оптимизацију складишног простора.



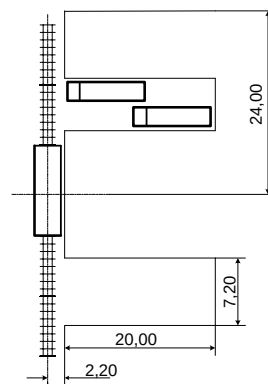
Слика 13-3. Зупчasti фронт претовара



Слика 13-4. Раван фронт претовара



Слика 13-5. Унутрашња рампа за камионе



Слика 13-6. Унутрашња рампа за камионе и вагоне

Фронтови претовара могу да буду отворени и затворени. Затворени фронтови представљају скупље решење (захтевају додатни простор, већу потрошњу енергије, вентилацију и сл.), али су повољнији за заштиту робе и радника од временских утицаја. Зависно од карактеристика складишта процеси пријема и отпреме могу бити на истом претоварном фронту или раздвојени на посебним претоварним фронтовима код већег обима послова.

Локација на којој се налази складиште треба да омогући лак улаз/излаз средстава спољног транспорта, водећи рачуна о простору за маневрисање (видети поглавље 7). При томе треба водити рачуна о прописаним димензијама за једносмерни и двосмерни саобраћај, као и радијусу кривина за железнички транспорт.

Геометрија пријемног одељења зависи од карактеристика робног тока, обима, динамике и асортимана робе, карактеристика средства за манипулацију, начина слагања робе, облика и димензија транспортних јединица и др. Нове технологије и стратегије дефинишу захтеве према фронту претовара као

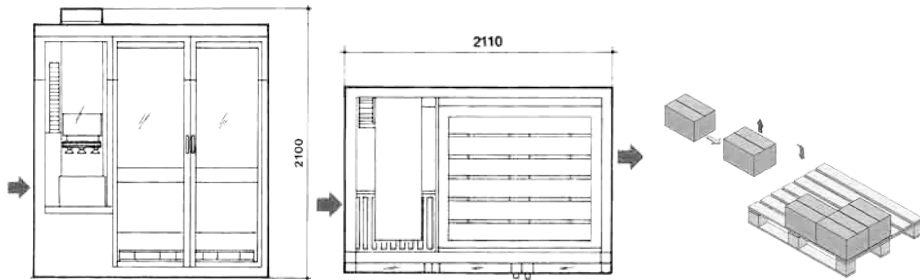
виталном делу складишта преко кога оно комуницира са окружењем, ово је посебно битно код Cross-Docking-a (видети поглавље 13.4).

13.1.2. Палетизација

Палетизација је процес формирања палетних јединица. Палета је помоћно транспортно средство, направљена од различитих материјала, са циљем да омогући обликовање оптималне транспортне јединице (ТЈ). Палетизацију треба посматрати као процес примене палета у превозу робе. Учинци тог процеса су економски, технолошки, заштитни, сигурносни и др. На палете се слажу коадне пошилке (кутије, вреће, бале итд.), у циљу формирања стандардних димензија транспортних јединица, укрупњавања ситних терета и рационалног искоришћења товарног и складишног простора. Може се закључити, да процес палетизације представља скуп организационо повезаних технолошких процеса и средстава у циљу механизације и аутоматизације манипулације и транспорта у ланцу снабдевања.

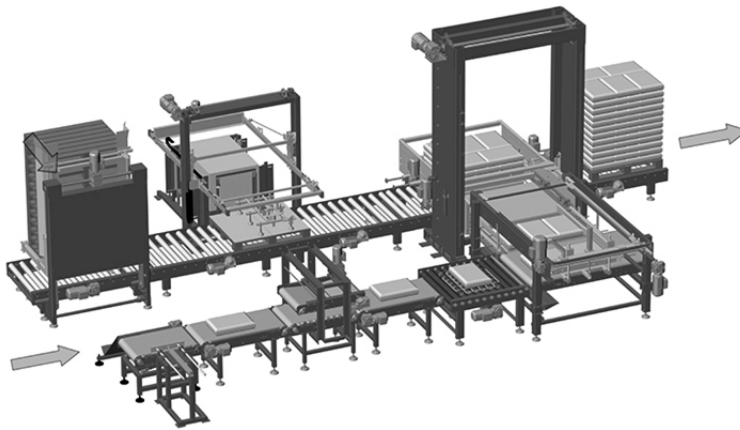
Формирање палетних јединица може да буде: мануелно, аутоматизовано и роботизовано. Основни поступак палетизације (мануелни), се обично примењује код мањих количина робе и процеса који нису континуални, малих фреквенција и када долазна роба због неправилног облика није погодна за коришћење механизованих уређаја за палетизацију (палетомата) или робота. Палете се формирају ручно, обично уз помоћ разних транспортних уређаја, тракастих транспортера, конвејера, ролганга или дизалица. Код већих количина робе овај начин палетизације може бити узрок повреда.

Савремена техника и технологија нуде разне системе палетизације, великих капацитета и са елиминацијом мануелног рада. Палетомати представљају основну опрему за формирање палета. Производе се великих капацитета, преко 5.000 *palleta/čas*. Обично се праве од модуларних компонената, чијим се комбиновањем могу стварати различите конфигурације. На слици 13-7 наведен је пример компактног мини палетизера, који има веома добро искоришћење радног простора. Испоручује се спреман за употребу и нуди широк дијапазон модела палетизације. Предвиђена је могућност мануелног улагања празних палета и вађења пуних после завршеног процеса палетизације. Предвиђена је као опција и потпуна аутоматизација процеса. Прихвата палете од 800 x 1.000 до 1.000 x 1.200 и висине до 1.500 . Капацитет уређаја је 6 *kutija/min*. Време промене програма је 5 *min*.



Слика 13-7. Изглед компактног палетизера (Mini Pal) и шема слагања кутија

Велики капацитети палетизације захтевају потпуно аутоматизована постројења. На слици 13-8 приказано је једно такво постројење, са аутоматским улагањем и вађењем палета. Означени су стрелицама правци кретања појединих елемената у процесу.



Слика 13-8. Постојење за палетизацију, са аутоматским улагањем и вађењем палета.

Тенденције развоја дистрибутивних система показују да оптималне величине серија постају све мање, што има за последицу појаве захтева за мањим логистичким јединицама и честом променом модела за слагање јединица на палету. Наведене промене утичу на неопходност увођења робота у системе дистрибуције. Роботизовани системи за палетизацију раде аутоматски, самостално без надзора оператера. Прилагођени су специфичним потребама линија омогућавајући палетизацију кутија, врећа, папирних ролни и других производа који се могу слагати на палети. Формирање шеме за слагање палета се изводи помоћу software-а према задатом облику шеме. Тако да прекид производње ради промене формата траје неколико секунди, што чини уређај погодним за палетизовање малих серија. Роботска палетизација, у односу на класична решења, омогућава велику флексибилност и брзо прилагођавање линија за паковање у случају увођења нових производа, као и код истовременог опслуживања више линија за паковање. Роботи су опремљени за препознавање могућих грешки и кварова. Роботи могу да буду опремљени следећим

уређајима: аутоматским достављачем палета, за уметање листова сепаратора, за стављање заштитне фолије, транспортерима и пратећом опремом. Као пример наводе се основне карактеристике робота палетизера IRIS PAL XY (Таблица 13-2). На сликама 13-9 и 13-10 приказани су роботи палетизери, у раду на слагању пакета и врећа капацитета 1.200 јединица на сат.

Таблица 13-2. Карактеристике робота палетизера IRIS PAL XY.

Опис	Јединица мере	Вредност
Максимална величина палете	mm	1.700 x 1.700 x 2.800
Минимална величина палете	mm	600 x 400
Капацитет	кутија/h	6.000
Време измене палете	s	9

После формирања палете потребно је обезбедити стабилност терета да би се обезбедило несметано и сигурно кретање кроз процес. Поступак обезбеђења терета може да се изведе на различитим нивоима, од мануелног до потпуно аутоматизованог. Посебан проблем је осигурање нехомогеног садржаја на палетама које носе јединице различитих димензија, па се поступак тешко аутоматизује (слика 13-11,1). Овакви захтеви су често присутни код Cross-Docking-а или код повратних палета Поступци учвршћивања терета на палети, који се користе у пракси су следећи:

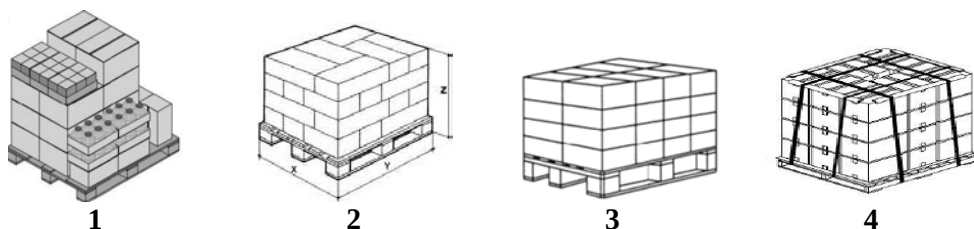
- Повољним слагањем појединих кутија (слика 13-11, 1, 2 и 3) или постављањем фрикционих материјала између слојева.
- Везивање терета траком од разних врста материјала (слика 13-11, 4).
- Електростатичком (стреч) фолијом (слика 13-12).
- Термо-скупљајућом фолијом (слика 13-13).



Слика 13-9. Палетизација пакета



Слика 13-10. Палетизација врећа



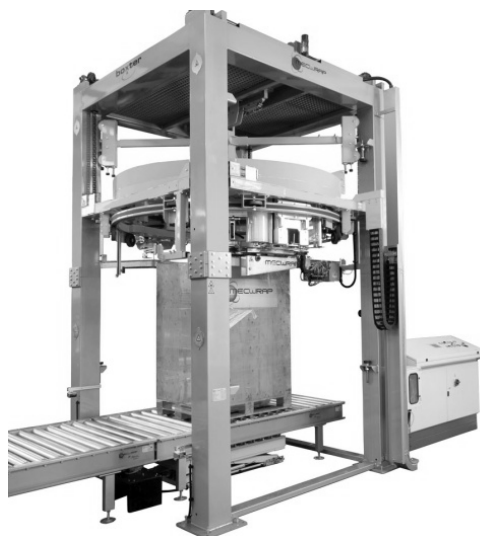
Слика 13-11. Палета са кутијама разних димензија (1), постављање кутија на палету (2) и (3), везивање терета траком (4)

13.1.3. Efficient Consumer Response, outsourcing, JIT

Структурне промене присутне у процесу репродукције, компликују реализацију и рационализацију логистичких задатака. У области рационализације данас је актуелан низ концепција (**Efficient Consumer Response - ECR**, **outsourcing**, **JIT** i dr.), што доводи до тога да су превазиђене конвенционалне техничке и организационе методе, које су у претходном периоду представљале стандард. Традиционално управљање логистичким ланцем карактеришу независне везе које испуњавају свој конкретан задатак. Овај тип управљања идентификује оптимизацију сваког линка самостално. Међутим, ово може довести до неконзистенције када једна карика у ланцу усваја стратегију, која је у сукобу са стратегијом коју је усвојио претходни или следећи линк. Резултати су високи трошкови логистике и низак ниво услуга потрошачима, што на крају доводи до мање снаге сваке везе и на тај начин целог ланца.



Слика 13-12. Обезбеђивање терета електростатичком фолијом



Слика 13-13. Обезбеђивање терета термо-скупљајућом фолијом

Крутим раздвајањем традиционалних улога произвођача и продавца, као и недостатак сарадње између њих, доводи до непотребног блокирања ланца снабдевања и не коришћења синергије моћних нових информационих технологија и планираних алата. Упркос чињеници да већина компанија оптимизира своје везе у ланцу, пракса показује да то није довољно. Тржиште постаје веома динамично и треба да рачуна на односе добављача и потрошача. Зато модерне компаније морају пратити логистичка кретања изван својих редова. Ефикасан одговор на потребе потрошача је реализација једноставног, брзог система покренутог од потрошача, у којем сви линкови у логистичком ланцу раде заједно, како би задовољили потрошаче уз најниже могуће трошкове.

Поступак **Efficient Consumer Response (ECR)** предвиђа да заједничко тело трговине и индустрије, ради као целина одговорна на захтеве потрошача и промовише уклањање непотребних трошкова из ланца снабдевања. Увођење нових принципа заједничког управљања дуж ланца снабдевања, подразумева да компанија може да послужи потрошаче боље, брже и са мање трошкова радећи заједно са трговинским партнерима. Пословно окружење се одликује драматичним напретком у информационим технологијама, растућом конкуренцијом, притиском на глобалне пословне структуре и захтевима потрошача за бољи избор, опслуживање, удобност, квалитет, безбедност и одрживост све већих кретања робе. Ова нова реалност захтева темељно разматрање најефикаснијих начина достављања потрошачима правих производа по правој цени.

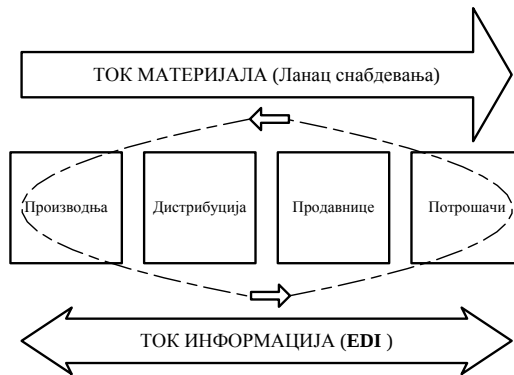
ECR стратегија је да се повећа ниво услуга потрошачима кроз блиску сарадњу између малопродаја, veleprodaja, и произвођача, са циљем да се побољша ефикасност ланца снабдевања у целини изван зида трговинске компаније. Дистрибутери и произвођачи, могу да добију веће профите него када сваки од њих спроводи своје пословне циљеве. Компаније које сачињавају ланац снабдевања могу да смање ниво залиха, трошкове, и повећају профитабилност, радећи заједно на стварању одрживе вредности да испуне жеље потрошача боље, брже и са мање трошкова (слика 13-14).

ECR има неколико полазишта. Прво, дефиниција показује да тражња потрошача игра важну улогу. Ланац мора да обезбеди континуирано побољшање задовољства потрошача, производе и квалитет. Друго, дефиниција такође показује да се захтева максимална ефикасност укупног логистичког ланца. Реализација ова два полазишта не може да се уради без тачних информација, које морају бити доступне по потреби. Да би се сачували ниски трошкови, пожељно је да информације и комуникација иду без папира. Да би испунили ове аспекте **ECR**-а, издвајају се три захтева за оптимизацијом: увођењем нових производа, промоцијом производа и асортиманом у продавницама.

13. Складишта

ECR има за циљ да побољша проток производа минимизирањем залиха ланца снабдевања и стварањем бржег протока новца. Тежиште је на обезбеђивању брзог протока производа на полицама трговина на мало. Подржава заједничко управљање са ланцем снабдевања, довољно флексибилним да брзо реагује на промене у потражњи. Брзо и ефикасно попуњавање производа доприноси уштеди трошкова кроз минимизирање количине залиха у систему, док се испуњава неопходни ниво услуга.

Важно питање је како трговински партнери раде заједно на постизању циљева. **ECR** настоји да смањи трошкове и обезбеди брзо реаговање кроз интегрисано планирање које избегава активности које доводе до варијација у потражњи у ланцу снабдевања. Стандардизација информација и комуникација доводи до уштеде времена и новца.



Слика 13-14. Ток материјала и информација у систему **ECR**

Outsourcing је врста пословног процеса, који користе различите компаније да смање трошкове, преношењем делова пословних активности спољним партнерима уместо да га интерно реализују. Представља процес искључивања свих активности и послова из предузећа који нису од стратешког значења, што значи да одређени број активности препушта онима који ће их обавити боље, брже и јефтиније. Outsourcing је ефикасна стратегија уштеде када се користи правилно. Понекад је приступачније да се купи добро од компанија компаративних предности него да се организује сопствена производња. Као пример, наводе се компаније које производе рачунаре (**IBM**, **Apple**, **Dell**), да примењују outsourcing, тако што ће куповати неке од компонената рачунара од другог произвођача, како би смањили трошкове производње. Најчешће услуге овога типа, које се користе, односе се на сегменте типа **IT**, односно то је нови облик пружања информационих услуга. Алтернативно, ова метода допушта да поједина предузећа могу да одлуче да ангажују лиценциране независне фирме за вођење рачуноводства, јер то може бити јефтиније од држања службе рачуноводства у кући.

Последњих неколико година дошло је до тренда оутсоурцинг унутрашње логистичке услуге. Главни разлози наведени у овом контексту су:

- Концентрација оперативних напора на кључним компетенцијама, нпр. развој и производња,
- Одлука да се рутински послови повере логистичким провајдерима ствара могућност да се запослени информатичари максимално концентришу на активности које су од највећег стратешког значаја, пошто су ослобођени бриге о одржавању мреже и ажурирању софтвера.
- Смањење логистичких трошкова,
- Уравнотежење сезонског рада, врхова или колебања која не оправдавају стварање сопствених капацитета.
- Побољшање услуга испоруке повећањем присуства купаца или смањењем рокова испоруке. Применом **EDI** решења, купац добија сва потребна обавештења.
- Многи лиценцирани логистички провајдери већ имају такво присуство, да би било нерационално изградити сопствену мрежу.

Постоји много различитих облика outsourcing-a. На пример, лиценцирани логистички провајдер може да преузме и ради у постојећем складишту. У другом случају, акције се преносе на спољно складиште, лиценцирани логистики провајдер ради заједно са акцијама друге компаније (систем са више клијената). У сваком случају, то доводи до нових захтева у раду, пошто су уступљена складишта. Пошто се такве услуге често плаћају на основу трансакција, битна је транспарентност, тако да купац може да контролише процесе. Управљање и запослени у систему управљања складишта морају да буду транспарентни, тако да велике компаније обично имају много запослених на логистичким информацијама. Пословне функције се преносе на спољне провајдере и индивидуалне консултанте. Задаци као што је унос података и програма се често обављају помоћу outsourcing-a.

На крају потребно је напоменути, да се компаније стално суочавају са дилемом, да ли поверити неке послове другом или не, што је веома сложена одлука. Свака компанија је посебна, оно што за једну представља повољно решење, за другу може да доноси губитке.

Стратегија залиха предузећа **Just In Time (JIT)** треба да повећа ефикасност и смањи губитке. Пријем робе се обавља само када је потребна у процесу производње, чиме се смањују трошкови складиштења. Овај метод захтева од произвођача прецизно предвиђање потражње. Дobar пример примене **JIT** су произвођачи аутомобила који раде са веома ниским нивоима залиха, ослањајући се на њихов ланац снабдевања да испоручи делове који су им неопходни у производњи, да стигну у тренутку када их треба уградити. Овај систем снабдевања залихама представља помак у односу на ранију стратегију, "за сваки случај" (just in case), у којој произвођачи чувају велике залихе, да код веће потражње могу да испуне задати програм.

13.2. Главно складиште

Подручје главног складишта (простор складишта у коме се чува роба) служи искључиво за временско премошћавање. Транспортне јединице напуштају складиште у истом стању у којем су ушле у складиште (ово не мора да важи и за мања складишта). У овом подручју је могуће остварити идеалан захтев да је транспортна јединица једнака складишној јединици, односно да се количина робе на транспортној јединици не мења.

Количина робе на једној транспортној јединици може да буде састављена од најчешће једног, или више артикала. Као следећу карактеристику треба нагласити, да се у главном складишту може достићи екстремно искоришћење простора, пошто се у њему не обављају поједине операције као пријем, припрема, сортирање робе и сл.

Локација - положај робе у главном складишту може да буде одређен на три начина:

- **Систем са сталним локацијама.** Односи се на стално означене локације у оквиру складишта. За сваки артикал је резервисан одређени складишни простор. Између ознаке складишног места и броја једног артикла постоји чврста веза. Капацитет сваке фиксне локације је пројектован за максимални ниво дате залихе, тако да је код примене овог система простор складишта недовољно искоришћен. Овај систем је компатибилан са планом layout-а складишта када су минимизирани трошкови транспорта у оквиру датог складишта.
- **Систем са случајним локацијама.** Овде се одређује локација артикла на бази слободног простора у складишту. Добија се знатна уштеда у складишном простору, пошто стоји на располагању не само простор за максимално стање сваког појединог артикла, већ и за максимално стање суме артикала. Због тога треба очекивати да за разне системе складиштења нису идентичне одговарајуће вредности, па треба квантификовати одговарајући добитак простора. Код одлучивања по овом питању, значајну улогу имају асортиман робе и примењени модел залиха. Недостатак овог система је отежано праћење сталне промене локација артикла, тако да је неопходна примена рачунара.
- **Подела складишта на зоне.** Локације артикала су фиксне у односу на задату зону, али не и у оквиру те зоне. У оквиру дате зоне се примењује систем са случајним локацијама. Овај систем је погодан за примену када се подела на зоне врши према обрту појединих артикала. На формирање зона утиче и сличност робе (артикли се складиште према класама). Роба која се наручује, прима, отпрема и инвентарисе заједно, треба да буде ускладиштена заједно.

Према **начину ускладиштења** главно складиште може да се подели на следеће системе:

- ручно складиштење, за непалетизовану робу (користи се обично у складиштима алата, модела, резервних делова, **ХТЗ** опреме, итд.),
- ускладиштење виљушкарима палетизованих производа.
- ускладиштење складишним дизалицама палетизованих производа.

Палетна складишта могу да се поделе према типу главног складишта у две основне групе:

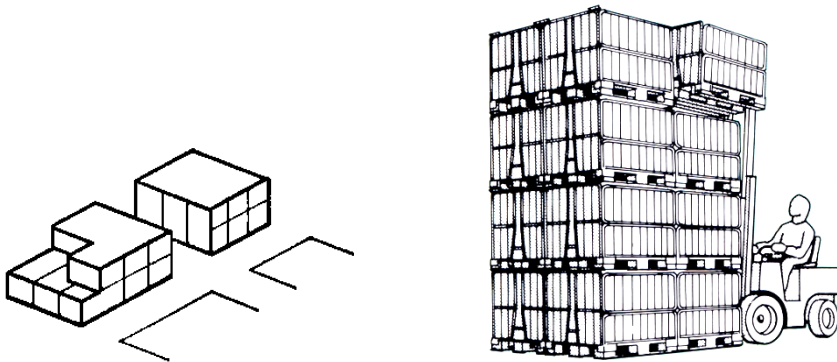
- Палете се складиште на поду складишта - складиштење у блоковима и
- складиштење у регалима.

Код складиштења у **блоковима (БЛ)** транспортне јединице формирају блокове зависно од асортимана артикала. Код овог система складиштења могу да се примене само они типови транспортних јединица које могу да се слажу једна на другу (слика 13-15). Блок систем омогућава веома погодно искоришћење површине складишног простора. Ограничена је висина ускладиштења. Овакав начин ускладиштења је погодан само када постоји мали асортиман артикала са високим просечним стањем залиха. Тешко се остварује **FIFO (First In First Out)** принцип.

Код складиштења у регалима извршена је подела на три групе, зависно од процеса складиштења:

- регали и терет су непокретни,
- регали су непокретни а терет се креће и
- регали и терет се крећу.

Прва група обухвата конвенционална **регална (РС)** и **високорегална складишта (ВРС)**, као и **аутоматска високорегална складишта (АС/РС)**. Основни принцип уређења и начина рада ових складишта је исти. Конвенционална регална складишта, по правилу, нису виша од 12 m, а највећа висина складишта овог типа износи 16 m. Ускладиштење на висинама до 6 m се обавља ручним палетним виљушкарима. Високорегална складишта (слике 13-16 и 13-17) се најчешће граде са висином ускладиштења до 30 m (максимално 45 m). Опслужују се високорегалним дизалицама. Имају боље искоришћење складишног простора од **РС**. Код **РС** и **ВРС** је омогућен директан приступ свим артиклима и лако се остварује принцип **FIFO**.



Слика 13-15. Блок складиште

Овој групи припада и посебна врста регалних складишта **Drive in (DRI)** "пролазна складишта", слика 13-18. Виљушкар улази у регал и поставља палету. Код овог система остварено је боље искоришћење складишног простора (нема посебних ходника) у односу на предходна два система (**РС** и **ВРС**). Није омогућен директан приступ свим артиклима и не може да се оствари принцип **FIFO**. Користи се за ускладиштење веће количине малог броја артикала.

Другу групу сачињавају проточна складишта (**ПС**), слика 13-19. Састоје се из низа стаза са ваљцима или ролнама, на којима се складиште транспортне јединице. Све складишне стазе могу да имају само по једно место за ускладиштење/искладиштење (одношење палета), па је могуће све процесе потпуно аутоматизовати помоћу система континуалног транспорта. Захватање палета је могуће само на крајевима линија. При одношењу остале палете се помичу за једно место. У потпуности се остварује **FIFO** принцип. Проточна складишта се данас граде висине до 30 m.

Предност система проточних складишта је у високом искоришћењу складишног простора (однос површине регала према површини ходника) и у бољем односу простора за ускладиштење/искладиштење према укупном броју палетних места, него код регалних складишта (дизалица опслужује знатно већи број палетних места). Недостатак представљају знатни трошкови за конструкцију регала (стазе са ваљцима, капије на месту одношења палета, итд.).

Трећу групу обухватају складишта са покретним регалима (**ПР**), слика 13-20. Ови системи остварују високо искоришћење складишног простора. Регали су механизовани, могу да се покрећу ручно или помоћу система за управљање. Покретање регала се синхронизује са појединим операцијама кретања материјала. Пошто је неопходно за сваку операцију мењати положај система, мора да се синхронизује покретање регала са појединим операцијама.

У табlici 13-3 су дата упоређења појединих основних карактеристика различитих складишних система /Miebach 1971/. Степен искоришћења складишног простора η_A дат је у (%). Подаци су дати за следеће системе ускладиштења:

- конвенционално регално складиште опслуживано виљушкарком; ходник је постављен између сваког пара регала,
- складиште типа Drive in, са улазом са једне стране опслуживано виљушкарком,
- Блок складиште са главним ходником постављеним после сваких шест редова палета по дужини,
- проточно складиште опслуживано виљушкарком; прилаз са две стране,
- високорегално складиште опслуживано регалном дизалицом, ходник је постављен између сваког пара регала, и
- складиште са покретним регалима опслуживано виљушкарком.

За припрему података датих у табlici 13-3, узети су следећи критеријуми:

- међупростори између палета су исти за све системе
- међупростори између палета и регала су исти за све системе, и
- узет је виљушкар истих карактеристика за опслуживање свих система, изузев код високорегалног складишта.

Таблица 13-3.

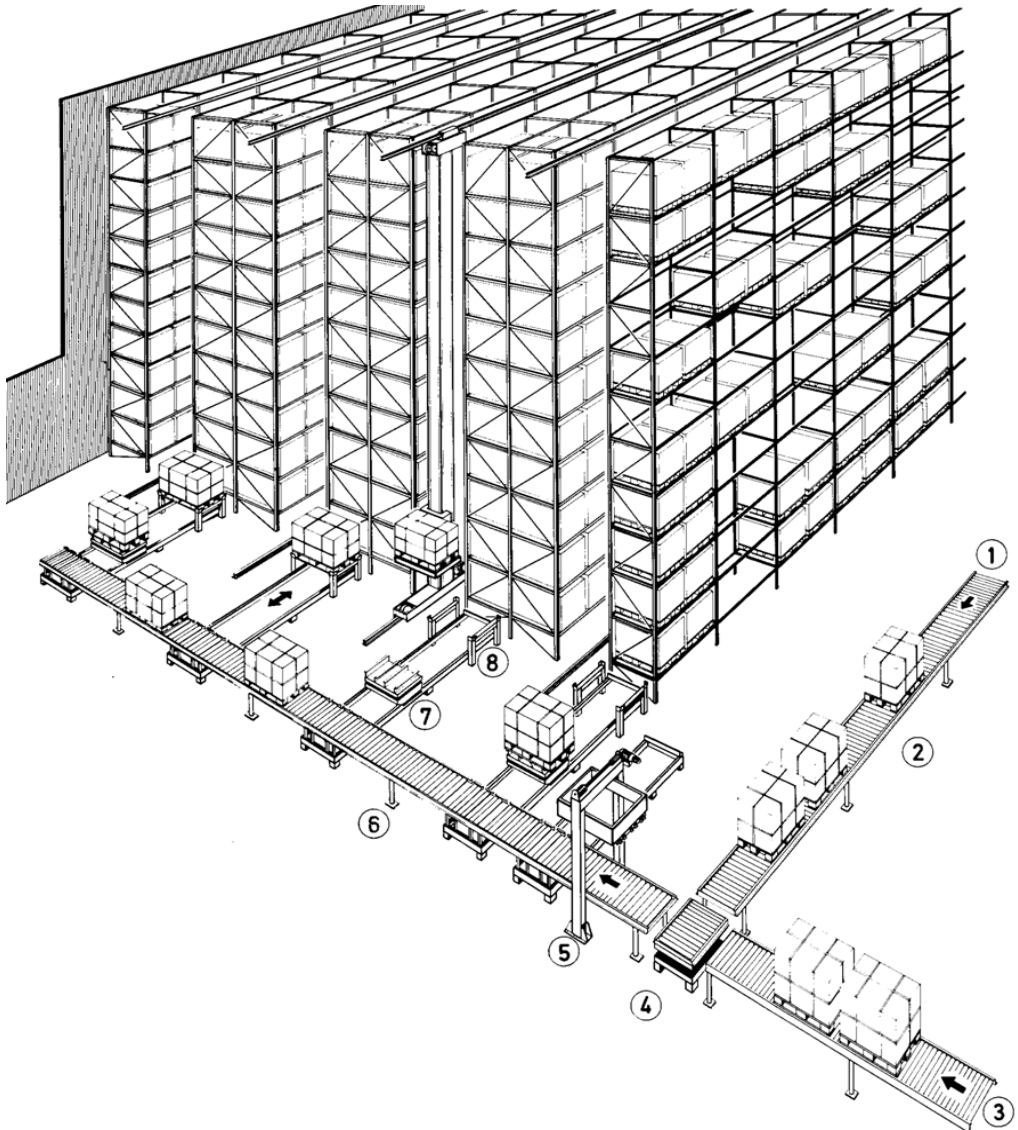
Тип складишта	η_A (%)	Локације које се нормално користе у %	Површина складишта која се стварно користи у %	Директан приступ палетном месту у %	Могућност оштећења производа
Регално складиште	39	100	39	100	мала
Складиште "drive in"	75	60	45	10 - 20	велика
"Блок" складиште	70	70	49	5 - 10	велика
Проточно складиште	75	70	53	10 - 20	нормална
Високорегално складиште	60	100	60	100	мала
Складиште са покретним регалима	85	100	85	100	мала

Гале /Gale 1972/, даје упоређење инвестиционих улагања код разних типова складишта (**БЛ** - блок, **DRI** - drive in, **ПР** - покретни регали, **РС** - регално складиште, **ПС** - проточно складиште, **ВРС** - високорегално складиште). Посебно анализира економични ниво ускладиштења. На слици 13-21 приказан је минимални број палетних места за поједине типове складишта.

13.3. Прикупљање и сортирање наруџбина (припрема робе за дистрибуцију - комисионирање)

Комисионирање је динамичан и веома скуп део складишта и дистрибутивних система, па се посебна пажња посвећује планирању и раду таквих система. Савремени комисиони системи, користе све врсте опреме за транспорт и складиштење, па због сложеног односа између техничких објеката, процеса, организационе структуре и управљања информацијама, пројектовање, ових система је веома сложен задатак. Основне функције и стандардизовани процеси дефинисани су за побољшање структуре ових процеса и задатака који треба да омогуће систематско планирање и организацију система комисионирања.

Основна функција комисионирања у складишту је припрема робе за дистрибуцију према захтеву корисника. Складишне јединице које излазе из овог подручја могу да буду различите од оних које улазе. То значи да складишне јединице напуштају процес комисионирања у стању различитом од оног у коме су дошле и биле ускладиштене. Комисионирање је неизбежна складишна активност и обавља се у свим складиштима, од ручно опслуживаних до аутоматских високорегалних складишта. Дефинише се као *"процес комплетирања робе према наруџбинама"* /Gudehus 1973/. Поред основне функције сортирања, зависно од решења, ово подручје може да садржи и знатан део временског премошћавања /Зрнић 1993/. Комисионирање представља значајну, веома динамичну, складишну функцију и веома осетљиву област у процесу пројектовања складишних система.

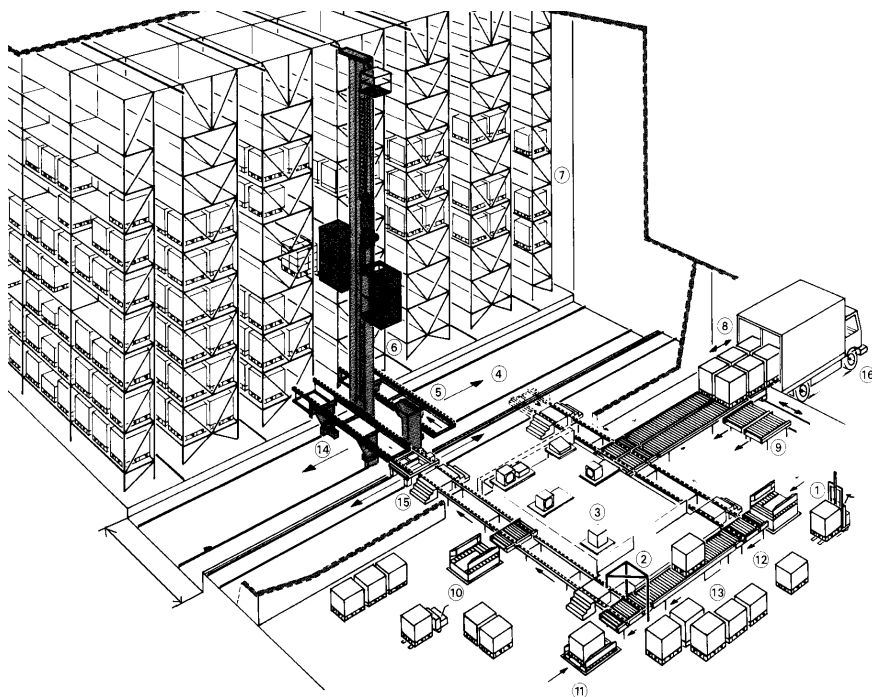


Легенда:

- | | |
|-----------------------------------|---------------------------------------|
| 1. Долазни ток из производње, | 2. Ред чекања - акумулациони ролганг, |
| 3. Долазни ток са пријемне рампе, | 4. Окретни сто, |
| 5. Контрола габарита и масе, | 6. Магистрални транспортер |
| 7. Колица са подизним столом, | 8. Улазно/излазна станица. |

Слика 13-16. Високорегално складиште

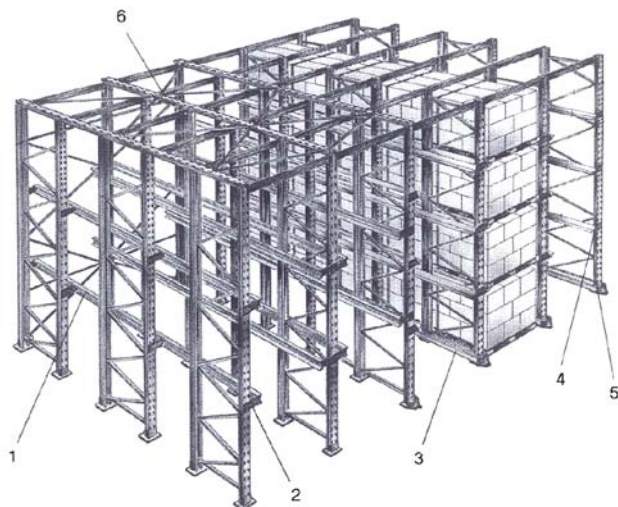
13. Складишта



Легенда:

1. Пријем, улаз у складиште, 2. Контрола габарита и масе, 3. Идентификација робе, 4. Зона за трансфер дизалице, 5. Трансфер колица, 6. Високорегална дизалица, 7. Високорегално складиште, 8. Аутоматски утовар и истовар, 9. Међускладиште за утовар камиона, 10. Палете ван габарита и/или масе, 11. Улаз палета из производње, 12. Подизни сто са ваљцима, 13. Транспортер са ваљцима, 14. Ланчани транспортер, 15. Пребацивање палета на дизалицу.

Слика 13-17. Складиште са високорегалном дизалицом и трансфер колицима



Слика 13-18. Drive in, "пролазно складиште" (1. носач палете, 2. спојница носача палете, 3. вођица, 4. стуб, 5. одбојник, 6. хоризонтални носач)

13. Складишта

Ова активност обухвата селекцију (узимање) робе са складишних локација према захтевима потрошача. Селекција наруџбина може да се врши директно у главном складишту или у посебном складишту за припрему наруџбина (комисиона складишта), да би се омогућио ефикаснији рад када је присутан велики број артикала и велики интензитет наручивања. Сортирање код мањих складишта најчешће је мануелни поступак и захтева велико учешће радне снаге, што повећава трошкове и вероватноћу појаве грешке при испоруци робе. У појединим складиштима приближно 65 % укупних трошкова рада отпада на трошкове везане за процес комисионирања. Испуњавање наруџбина је често најкритичнија складишна функција, зато што брзина селекције директно утиче на квалитет услуге потрошачима. Најважнији циљ при решавању овог подручја, поред искоришћења простора, је минимизирање времена комисионирања и сортирања робе оптимизирањем пута и поступака појединих захвата. При томе је јасан појам функционалног одвајања на главно складиште и складиште за припрему наруџбина: оба се морају поставити и оптимизирати према различитим техничким циљевима.

Основни проблем пројектовања система за комисионирање је стохастички карактер процеса и често немогућност механизације и аутоматизације процеса, који се економски исплате /Appelt, Krampe 1985/. Наружбине се појављују у случајним временским тренуцима, а врста и количина наручене робе су такође случајне величине. Стохастичка природа процеса отежава прорачун потребног времена за комисионирање и капацитет овог система /Gudehus 1973/.

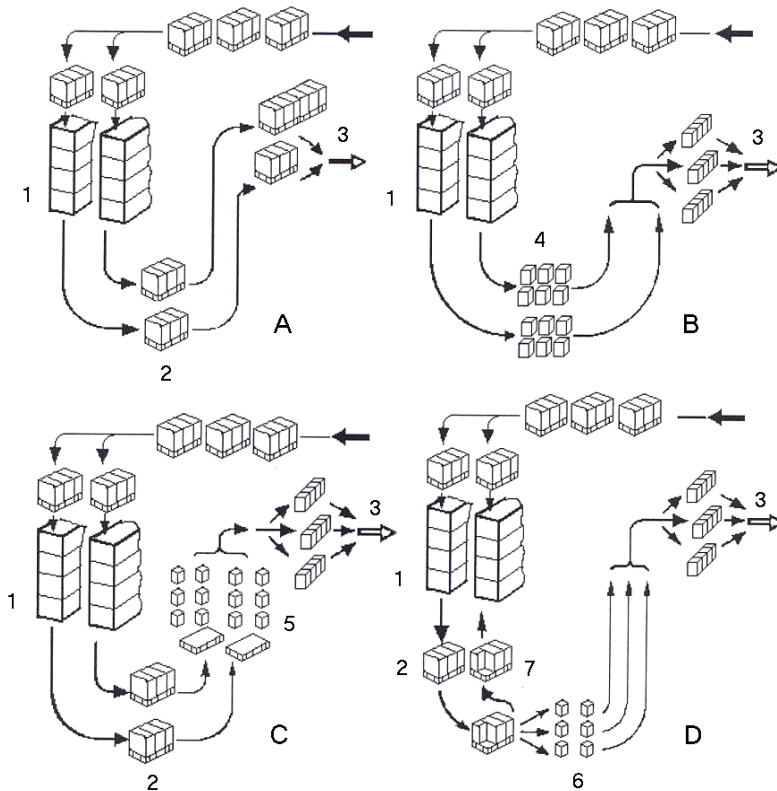
Практично не постоје два истоветна решења система за комисионирање, јер су увек присутне другачије потребе корисника. Не може се усвојити шематски приступ у решавању овог проблема, зато што сваки систем представља оригинално техничко и технолошко решење /Salzer 1979/. Постоји широко поље варијантних решења, комбинација различитих техничких и организационих солуција, између којих се бира оптимално.

Основне технолошке шеме процеса комисионирања дате су на слици 13-22 (до главног складишта (1) довозе се палетизоване транспортне јединице):

- А.** Складишне јединице не мењају своје стање у процесу комисионирања. Из главног складишта (1), узимају се целе складишне јединице (2) и односе до места где се комплетирају наруџбине (3). У овом случају минимална количина која се наручује не сме да буде мања од количине робе која се налази на једној палети (**ТЈ**). Отпрема целих складишних јединица представља најједноставнији случај манипулације робом.
- В.** Роба се захвата директно из регала главног складишта (види слику 13-23) и односи до места где се комплетирају наруџбине (3). Наручене количине, које се захватају (4), су мање од складишне јединице. После

сортирања, пре отпреме, обично се формирају нове складишне јединице од различитих артикала (3).

- С.** Из главног складишта (1) односе се складишне јединице (2) у комисионо складиште (5), где се издвајају наручене количине и одвозе до места комплетирања (3). И у овом случају, пре отпреме, формирајују се нове складишне јединице од више различитих артикала.
- Д.** Комисионирање на посебно оформљеним радним местима. Складишна јединица (2) се транспортује од локације у главном регалном складишту до радног места (6), где се издваја наручена роба, а затим се делом испражњена складишна јединица (7) враћа поново у главно складиште. Роба се даље одвози на комплетирање (3).



Слика 13-22. Шеме процеса комисионирања

У зависности да ли се захватање робе обавља у зони складишних локација или на за то специјално одређеном радном месту, разликујемо комисионирање по принципу "човек роби" и "роба човеку". При томе се први начин још назива "комисионирање у ходнику" или "статичко комисионирање"/Gudehus 1973/, јер се складишна јединица не помера у току процеса. Захватање робе се обавља на локацији у главном складишту /Theml 1972/, слика 13-23 (случај В на слици 13-22).

13. Складишта

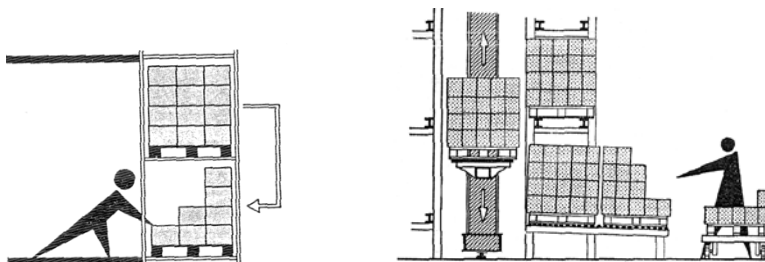
На слици 13-24 приказано је комисионирање по принципу "човек роби", радник се креће између регала комисионог складишта, по унапред оптимизованој путањи, из регала узима наручене артикле и одлаже их у комисиона колица. Слика 13-25 приказује комисионирање по истом принципу када је због веће фреквенције наруџбина потребно убрзати процес, тако да се отпрема робе из комисионе зоне обавља континуалним транспортером. У овом случају је неходно предвидети накнадно сортирање артикала.

У случају комисионирања по принципу "роба човеку", које се још назива "комисионирање изван ходника" или "динамичко комисионирање" /Gudehus 1973/, складиштење и захватање робе су просторно раздвојени (варијанта D, слика 13-22 и слике 13-26 и 13-27 - код веће фреквенције наруџбина).

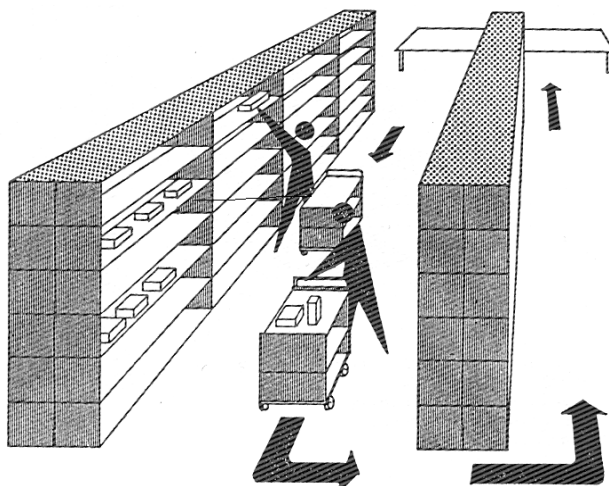
Посебан вид представља комисионирање из проточних регала. Роба се захвата на излазном крају проточних регала (слика 13-28). Ово се најчешће своди на варијанте (А или С, слика 13-22).

У случају комисионирања по принципу "роба човеку" радник се не креће па се може посматрати као гранични случај једнодимензионалног кретања /Gudehus 1973/. При комисионирању по принципу "роба човеку" радник може да истовремено опслужује више радних места. На овај начин се смањује време чекања радника на робу. На дијаграму на слици 13-29 дате су могуће комбинације кретања радника и робе у току комисионирања, као и начина захватања (механизовано или ручно). При томе је могућа централизована или децентрализована отпрема за све присутне комбинације.

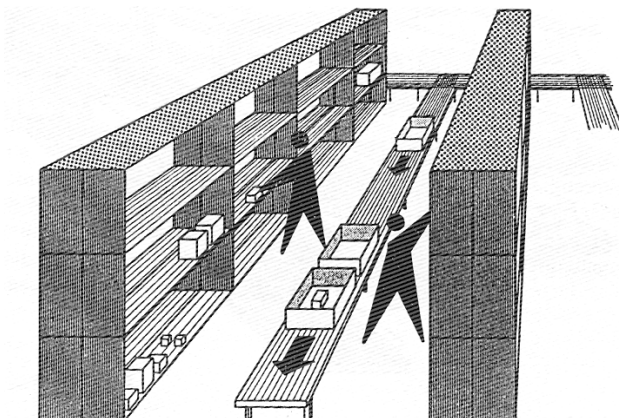
Систем човек роби код дводимензионалног кретања (слика 13-29) може да обезбеди значајне уштеде расположивог простора. Радник се налази у кабинџици, која се креће дуж ходника регала и прикупља наруџбине (слика 13-69, десно). Висина складиштења је одређена висином дохвата кабинџице. Возач се креће хоризонтално и вертикално, зависно од тражених артикала. Редослед прикупљања може да се програмира и тиме убрза процес комисионирања. Систем са човеком на кабинџици спада у скупе начине комисионирања. Оваква инвестиција може да буде оправдана само када постоји велика густина складиштења и мала динамика протока.



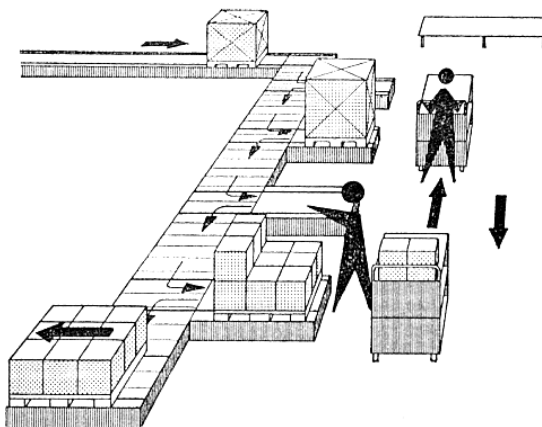
Слика 13-23. Захватање робе из регала главног складишта (случај В)



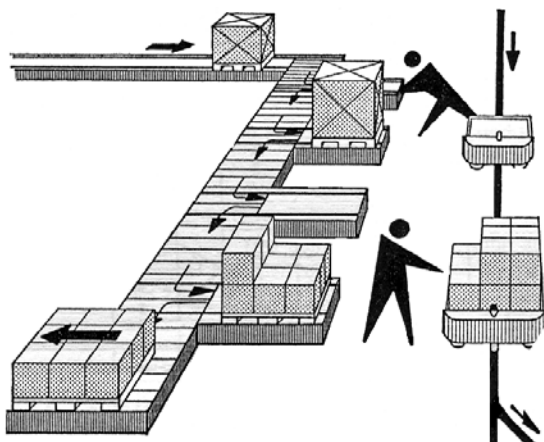
Слика 13-24. Комисионирање по принципу "човек роби"



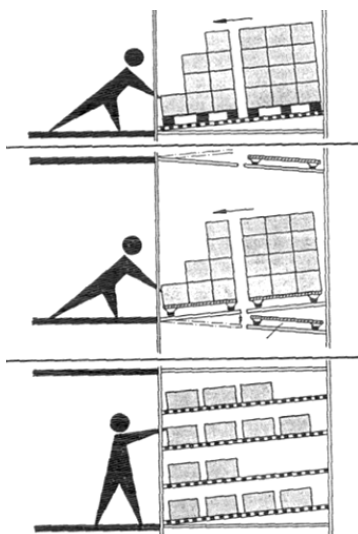
Слика 13-25. Комисионирање када је већа фреквенција наруџбина



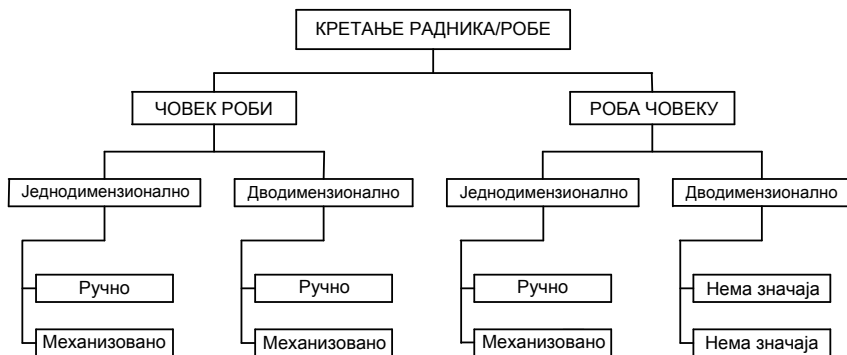
Слика 13-26. Комисионирање по принципу "роба човеку"



Слика 13-27. Комисионирање по принципу "роба човеку"



Слика 13-28. Комисионирање из проточних регала



Слика 13-29. Могуће комбинације кретања радника и робе у комисионирању

13.3.1. Основне функције система за комисионирање

Комисионирање обухвата све функције неопходне за припрему неке наручене робе. Процес почиње пријемом наруџбине и завршава се испоруком захтеване робе. Основне функције комисионирања су: транспорт, снабдевање, допуњавање, припрема, захватање, предаја робе, акумулација, сортирање и припрема робе за дистрибуцију. Свака од ових функција мора бити правилно решена технички и организационо, при чему се посебна пажња посвећује захватању и сортирању као најзначајнијим функцијама.

Основни задатак **транспортног** подсистема, у процесу комисионирања, је да систем за комисионирање повеже са околним системима и да обезбеди везу између појединих локација, односно омогући проток робе кроз подсистем.

Снабдевање остварује везу између уређаја спољног транспорта, производних и складишних система са системом за комисионирање. У оквиру ове функције се обезбеђује пријем робе и њена идентификација (врста робе, број артикла, маса артикла, димензије итд.). Одређују се локације на које се упућује примљена роба.

Допуњавање локација представља процес попуњавања залиха у комисионом складишту. Примљена роба се доноси на унапред одређене локације и на тај начин постаје доступна за захватање. Допуњавање је важна функција, посебно код аутоматских система за комисионирање, који треба да смање удео мануелног рада.

Припрема робе је најзначајнија функција система за комисионирање. При томе се посматрају следећи аспекти: кретање радника, начин захватања робе, и ток информација. На месту припреме (локације), налази се одређена роба која чека да буде наручена. За ову функцију је карактеристично и временско премошћавање, јер на местима припреме се роба привремено складишти /Зрнић, 1993/.

Преузимање (захватање). Налозима преузимања се управља у периоду времена према ситуацији. У сваком случају, наруџбине треба да се провере са обзиром на њихову изводљивост. Количине и/или јединице које треба преузети су блокиране да би избегли недостатке са временом преузимања. Преузимање и отпрема се обавља према одређеним стратегијама преузимања, обзиром на различите циљеве (табела 13-4 /ten Hompel, Schmidt 2007/). При томе систем управљања складиштем мора да прати иницирани процес претраживања и даје повратну информацију о његовом правилном завршетку. Када је роба преузета **ТЈ** је слободна, залиха је апдејтована смањењем стања за преузету количину и одговарајуће резервације су отказане. Да би могло да се континуирано прати

13. Складишта

ток материјала, јединицу, односно залиху, треба резервисати за следећег примаоца или транспортно средство.

Захватање робе у комисионој зони може да буде ручно или механизовано (примена робота или манипулатора). Ручно захватање обавља радник, ручно или уз помоћ неког средства за захватање. На местима припреме роба се захвата из отворених кутија, из транспортних судова, са палета, са полица, из фијока, што првенствено зависи од физичких особина робе. Захватање директно са палете је погодно за комисионирање артикала релативно веће запремине и фреквентније робе. Поред тога, постоје и разни уређаји који обезбеђују аутоматско захватање, али првенствено јединичних паковања робе. Због тог ограничења неопходне су додатне активности у предходним фазама, као што су депалетизација робе и допуњавање локација јединичним паковањима. Механизовано захватање је могуће само када је роба одговарајуће упакована.

Табела 13-4. Стратегија преузимања (захватања)

ОПИС	СТРАТЕГИЈА	ЦИЉ
FIFO	Преузимање прве ускладиштене јединице једног артикла	Избегавање застарелости
LIFO	Преузимање последње ускладиштене јединице једног артикла	Избегавање премештања јединица Блок складиште
Адаптација количине	Преузимање пуне и делимично испражњене јединице према обиму наруџбине	Побољшане перформансе транспорта минимизирањем поновног ускладиштења
Приоритет за посебне јединице	Општи приоритет за посебне TJ	Побољшано искоришћење складишног простора
Најкраће време вожње	Преузимање TJ једног артикла на најкраћем путу	Побољшане перформансе транспорта минимизирањем пута
Смањити промену ходника	Сортирање редоследа преузимања према једном ходнику	Свести на минимум пребацивање из текућег регала
Везане туре	Редослед претраживања према планираној тури	Смањено пребацивање и претовар
Време по фазама	Планирање преузимања према претпостављеном времену тражње	Смањено пребацивање и претовар
Напредовање	Поновно складиштење преузетих јединица близу тачке трансфера	Смањено време реакције повећањем перформанси у време потражње

Предаја робе после захватања обухвата транспорт исте до места сортирања, акумулације, паковања, ако је предвиђено и до места отпреме. Прикупљена роба се ставља у контејнере, касете, картонске кутије или неке друге транспортне судове, или се оставља у облику јединичних паковања, зависно од својих својстава, фреквенције и количине. Тако формиране транспортне јединице и јединична паковања робе се даље транспортују до радних места у производним системима или до зона за сортирање, паковање и отпрему у складишно дистрибутивним системима. Сортирање и паковање нису обавезне функције комисионирања, већ се јављају по потреби као допунске функције.

Тачка **акумулације** је локација на којој се идентификују кључне позиције тока материјала. Такво мерно место је од великог значаја да покаже напредак процеса у складишту, пре свега у системима изложеним стохастичким утицајима. Одредиште и стварни подаци се упоређују да се провери конзистентност материјала и тока информација. Ажурира се статус преузимања наруџбине. Контролна тачка поставља основу за искоришћене капацитета, односно, за коришћење следећих подручја према радном оптерећењу. Прави се одлука о избору циљева за транспорт готових јединица. Акумулација прикупљене робе се може обавити на два начина:

- на одређеној локацији изван зоне комисионирања - централизована предаја (слике 13-24 и 13-26),
- било где у зони комисионирања, роба се ставља на уређај континуалног транспорта којим се односи на сортирање - децентрализована предаја (слике 13-25 и 13-27).

Сортирање је процес присутан у току пријема или комисионирања комадне робе. Представља груписање робе према датим карактеристикама (врсти робе, паковању, облику, димензијама, маси, правцу отпреме, ознакама и сл.) Може да се реализује:

- аутоматизовано (систем за аутоматску идентификацију препознаје робу, а издвајање робе се реализује преко скретница, подизних и обртних столова, стрмих равни и сл.,
- ручно (препознавање и издвајање робе реализује се мануелно) и
- комбиновано.

Сортирање се може реализовати на бази различитих критеријума:

- према локацији, месту ускладиштења, месту отпреме, приоритету итд.
- отпреми робе према захтевима корисника дефинисаним наруџбеницом,
- према идентификацији робе, релевантним карактеристикама,
- према паковању (груписање робе у заједнички суд),
- обнављању залиха, код робе са ограниченим роком трајања,
- маси терета,
- учесталости манипулација,
- осетљивости робе на могућа оштећења,
- утицаја на осталу робу (мириси, испарења, ...),
- физичко или хемијско деловање на робу (сушење, замрзавање хране итд.).

Сортирање је неопходна функција у посебним случајевима комисионирања (групно комисионирање или паралелно комисионирање робе у више одвојених

13. Складишта

зона). Оваква организација комисионирања подразумева предходну обраду наруџбеница, када се повезују количина различитих захтева или постављање већег броја захтева по зонама зависно од места где се захтевана роба налази. Када се наруџбине испуњавају једна за другом, тако да је прикупљена роба једне наруџбине физички одвојена од остале робе, сортирање је непотребно.

При сортирању издвојена количина робе се дели на захтеване количине и разврстава за сваку од наруџбина. Сортирање се може обављати тако што се издвојена количина неке робе распоређује у различите транспортне судове одмах после захватања, или у току кретања до следеће локације или као посебан процес, у оквиру подсистема за сортирање. У последњем случају користе се специјални аутоматски уређаји који сортирају прикупљену робу према наруџбинама. У случају аутоматског сортирања, неопходно је увођење система за аутоматску идентификацију (бар-код).

Код комадних терета сортирање је операција која се реализује на за то посебним уређајима у транспортном ланцу логистичких система, ради раздвајања долазећег тока и даљег усмеравања по неким правилима ка циљу. На слици 13-30 показани су основни параметри сортирања, који као операција, не смеју да буду узрок застоја и морају имати висок степен поузданости, јер грешке у каснијим стадијумима тока материјала могу да створе хаос у систему. Сортирање је присутно у великом броју процеса, као нпр:

- после комисионирања и формирања пошиљки (палета, пакета и сл.), исти се разврставају према правцу отпреме (поштанском броју),
- у производњи после контроле делова и то на добре и лоше, код добрих се начешће наводи и класа тачности,
- на улазу робе (транспортних јединица) у складиште, према очитаном коду транспортна јединица се упућује у одговарајући ходник,
- код класирања воћа, поврћа и осталих прехранбених производа
- у дистрибуцији пошиљки у поштама, где је локација пријемног места критеријум за разврставање итд.



Слика 13-30. Основни параметри сортирања

Систем тока материјала. Током пројектовања комисионог система, треба одредити како комисионери могу најефикасније и у којој форми преузете јединице (артикле), да их транспортују даље. Физички процес комисионирања се састоји од следећих основних функција:

- Кретање робе за комисионирање
- Снабдевање
- Кретање радника до станице комисионирања
- Комисионер преузима робу
- Превоз преузете јединице за трансфер
- Трансфер преузете јединице
- Одвоз захваћене јединице
- Повратак делимично испражњене утоварне јединице.

На основу приказаног у Табели 13-5 /Junemann et al. 1999/, структура и решења комисионих система може се наћи комбиновањем појединих елемената. Мора се узети у разматрање, да, комисионер или јединица мора да се крећу. Осим тога, преузета јединица, мора да се транспортује да се заврши процес комисионирања. Комисионер може бити или радник или машина (робот).

Посебну пажњу треба посветити неким класификацијама. Термини попут "статички" и "динамички" се различито користе у пракси и литератури. Класична дефиниција која се такође користи у складиштењу значи, да код статичког снабдевања јединица остаје на истом месту у складишту до преузимања, односно, да чека своје захватање, нпр. у регалу. Код динамичког снабдевања јединица траженог артикла се доводи до тачке захватања и враћа након преузимања. У новијим публикацијама ови термини описују сам процес преузимања. То значи да код статичког снабдевања делови које треба захватити су непокретни, док код динамичког снабдевања су у покрету.

Други аспект овог проблема је класификација централизовано/децентрализовано снабдевање. Централизовано снабдевање подразумева снабдевање и преузимање на фиксној локацији или барем у ограниченем простору (нпр. 2 - 3 суседне палете, или захватање из ротационих регала). Јединице су у редоследу код те централне тачке и комисионер има приступ само тим јединицама. Код децентрализованог снабдевања артикли се преузимају са разних локација приступачних комисионеру. У литератури статичко или децентрализовано снабдевање изједначава се са принципом "човек роби" и динамичко или централизовано снабдевање са принципом "роба човеку". С обзиром на чињеницу да класификација у "централизовано/децентрализовано" не покрива све аспекте овог проблема и да су методе где се користи преузимање артикла у кретању практично непознате, користе се следеће дефиниције /Junemann et al. 1999/:

13. Складишта

- диференцијација статичког и динамичког снабдевања дефинише да ли се јединица транспортује конвејером ради преузимања, и
- диференцијација централизованог и децентрализованог снабдевања дефинише локацију пружања. Код централизованог снабдевања артикли се преузимају на фиксној локацији док код децентрализованог снабдевања се преузимају на различитим локацијама.

Класификација описана у табели 13-4, показује да статичко снабдевање није еквивалентно кретању радника до робе ("човек роби"), јер у зони захвата - узимања такође може бити централизовано. Динамичко снабдевање може, такође, да захтева кретање радника, у овом случају термин "роба човеку" више није прецизан и не могу се јасно разликовати принципи "роба човеку" и "човек роби".

Током преноса захваћених јединица, ова класификација понекад има друго значење. Код преноса узетих јединица класификација у статички и динамички трансфер се односи на конвејер за трансфер или јединицу за сакупљање. Ако је транспортер у покрету (континуални систем), трансфер је динамички. Ако се јединица преноси до стационарног суда за прикупљање, трансфер је статички. Класификација у централизовани/децентрализовани трансфер је аналогна према преузимању: ако се нпр. контејнер за скупљање преноси дуж различитих локација за преузимање, онда је децентрализован, док се трансфер ка фиксним локацијама разматра као централизован. Различити примери су дати у табели 13-6 /ten Hompel, Schmidt 2007/.

Даље класификације су направљене према врсти кретања, начину повраћаја и аранжирања већ обезбеђене или пренесене робе. Већина захватања се обавља ручно, док се тешка или гломазна роба преузима помоћу механичких уређаја. Код погодних артикала и великог обима наруџбина, захватање може бити аутоматизовано помоћу робота или манипулатора. Распоред јединица током снабдевања и трансфера је такође од великог значаја у погледу аутоматизације. Захватање се може аутоматизовати лакше и ефикасније уколико су јединице боље распоређене. При томе основни параметри и карактеристике могу утицати на одлуку који систем је најбољи за примену и зависе од пројекта (layout-a) складишта (Табела 13-6 /ten Hompel, Schmidt 2007/).

Комисионирање може бити у једној, две или три димензије. Када се радник креће по приземљу његово кретање је једнодимензионално, дводимензионално кретање када је комисионер на регалној дизалици, док тродимензионално кретање изводе дизалице.

Таблица 13-5. Структура комисионих система /Junemann et al. 1999/

Основне функције тока материјала	Могуће примене			
Кретање робе до места захватања	нема кретања	1-димензионално ручно	Кретање 2-диманзионално механизовано	3-димензионално аутоматско
Снабдевање		статичко централизовано сортирано	делимично сортирано	динамичко децентрализовано несортирано
Кретање комисионера до места захватања	нема кретања	1-димензионално ручно	Кретање 2-диманзионално механизовано	3-димензионално аутоматско
Радник преузима робу		ручно поједине позиције	механизовано	аутоматски више позиција
Превоз узете јединице до трансфер станице	нема транспорта	комисионер 1-димензионални ручни	2-диманзионални механизован	конвејер 3-димензионални аутоматски
Трансфер узете јединице		статички централизован сортиране	делимично сортиране	динамички децентрализован несортиране
Враћање парцијалног јединичног терета	нема повратног транспорта	враћање у складиште 1-димензионално ручно	2-диманзионално механизовано	враћање у складиште са парцијалним палетама 3-димензионално аутоматски

Табела 13-6. Класификација система за комисионирање

ОПИС	СТАТИЧКИ	ДИНАМИЧКИ
Децентрализовано	Снабдевање из регала. Артикали се налазе у регалима. Комисионер се креће дуж регала и проналази поједине јединице према датој наруџбеници. Приступа само јединицама за које постоји одговарајућа потражња. Овај процес комисионирања се назива принцип "човек роби".	Јединице за снабдевање се налазе у аутоматском складишту ситних делова. Артикали се узимају са полица складишта на нивоу пода, са стране складишта. Снабдевање је динамичко. Различите јединице се приносе месту захватања. Комисионер се креће дуж зоне захватања.
Централизовано	Зона за комисионирање. Полице су размештене (најчешће у U облику) и комисионер стоји у центру, где су сви артикали из његовог асортимана. Пошто у овом случају практично нема кретања, комисионер постиже високе перформансе (до 1.000 delova/čas). Метод је ограничен на примену код малог броја артикала.	Предскладишна зона високорегалног складишта (ВРС). Јединице су у једном аутоматском ВРС или складишту малих делова и треба да се донесу до централне тачке за преузимање. Пошто су преузете из складишта, јединице се преносе конвејером до станице за комисионирање и после се враћају. Овај процес се назива "роба човеку".
ОПИС	СТАТИЧКО	ДИНАМИЧКО
Децентрализовано	Стављање у посуду. Комисионер ставља позиције у једну посуду (контејнер). Он иде са посудом између тачака преузимања. Ако је посуда у исто време и јединица за отпрему наручиоцу, принцип се зове "захвати и пакуј".	Стављање на траку. После проналажења, комисионер ставља позицију на конвејер, који се креће паралелно дуж регала. Затим одлази до следеће тачке захватања и поступак се понавља.
Централизовано	"Роба човеку"/ комисионирање - U/ Позиције преузете у тачки захватања преносе се у јединицу за прикупљање (палету или контејнер), где се слажу	"Роба човеку"/ Патерностер складиште и ролганг/ Јединице се узимају са Патерностер полице и преносе на тракасти транспортер инсталиран испред. Комисионер се не помера.

13.3.2. Критеријуми за избор система комисионирања

Припрема робе за комисионирање зависи од физичких карактеристика робе (маса, димензије, облик, начин паковања, специфични захтеви за руковањем), и додатних фаза у процесу (мерење масе, дужине, одсецање итд.). Комисионирање по принципу "роба човеку" се по правилу примењује за издвајање робе велике запремине или дужине, као и масе преко 10 kg. Такође, примењује се када захватање робе прате и додатне фазе, као што су мерење масе и слично. У том случају је неопходно робу допремити на радно место на коме се налази уређај којим се обавља захтевана операција (мерење, одсецање итд.).

Коефицијент комисионирања олакшава избор система за припрему робе за дистрибуцију и одређује границе његове примене. Овај кефицијент је дефинисан као однос просечне количине робе на датој локацији (ТЈ) и просечне количине захватања:

$$k = b_i / q_j$$

где је:

b_i - просечна количина робе на локацији (број јединица, запремина итд.)

q_j - просечна количина робе која се захвата са локације.

Из претходног се закључује, да је кефицијент комисионирања једнак просечном броју захватања које треба обавити да би се однела сва количина робе са датог места, односно да се испразни једна складишна јединица (ТЈ). Комисионирање по принципу "роба човеку" се примењује за $k \leq 5$. За $k > 5$ примењује се по правилу комисионирање по принципу "човек роби".

13.3.3. Кретање радника и робе у систему за комисионирање

Кретање радника (и транспорт робе) при комисионирању и распоред локација са којих се роба захвата је међусобно повезано. Растојање између било које две локације са којих се роба узима треба да буде што је могуће краће. Радник хода између локација са ручним или електро колицима или се вози на електричном возилу за комисионирање или регалној дизалици, па кретање радника може да буде једнодимензионално или дводимензионално. При једнодимензионалном кретању радник се креће у једној равни. При дводимензионом кретању, радник користи транспортно средство које истовремено изводи кретање у два правца.

Кретање робе (материјала) у систему за комисионирање се одвија у оквиру два тока. Први ток обезбеђује допуњавање локација са којих се роба захвата и обухвата функције пријема и допуњавања. Други ток је ток комисиониране робе и обухвата функције захватања, предаје, сортирања и евентуално паковања робе. Заједничке додирне тачке ова два независна тока су локације на којима се роба привремено зауставља и са којих се захвата (садржи и временско премошћавање). Један потпуни систем за комисионирање, према томе, чине подсистем за допуњавање и подсистем за одношење.

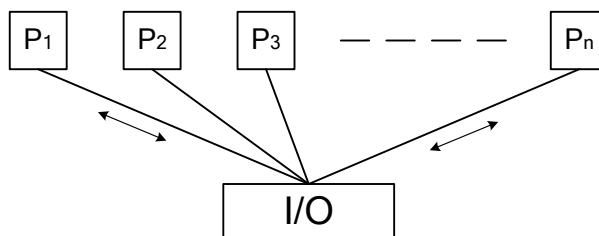
Наведени токови се могу остварити на два начина /Gudehus1973/:

- просторно-преклопљени (комбиновано) (слика 13-31), и
- просторно-раздвојени (слика 13-32).

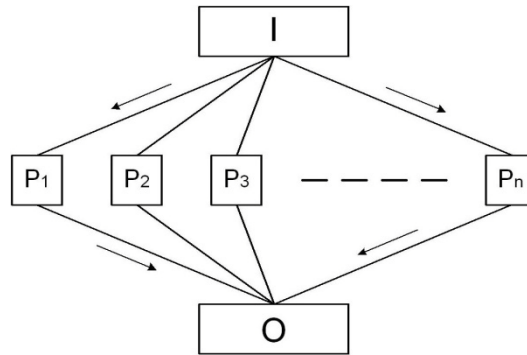
У првом случају, систем се или истовремено или наизменично допуњава и празни. За кретање робе користе се исти транспортни путеви у оба процеса. За допуњавање се по правилу користе складишне јединице, али је могуће допуњавање и јединицама захватања. Типичан пример су системи са регалима или полицама којима се приступа само са једне стране.

У другом случају, систем се истовремено допуњава и празни, а процеси су просторно раздвојени. Типичан пример су системи са проточним регалима, или регали који се попуњавају са једне, а захватање се обавља са друге њихове стране (слике 13-33 до 13-35). Као у предходном, и у овом случају се, по правилу, систем допуњава складишним јединицама, али је допуњавање могуће и јединицама захватања (јединичним паковањима), којима се обично допуњавају уређаји који омогућавају аутоматско захватање робе.

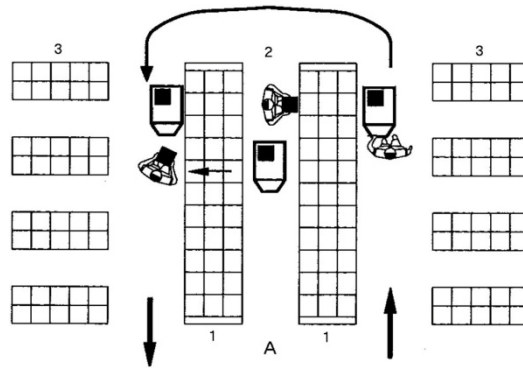
Треба тежити да се роба што је могуће дуже задржи у складишној или транспортној јединици, односно смањи број промена транспортно-техничког стања робе. Свака промена стања робе проузрокује додатне трошкове. Пожељно је да се за допуњавање користе складишне или транспортне јединице.



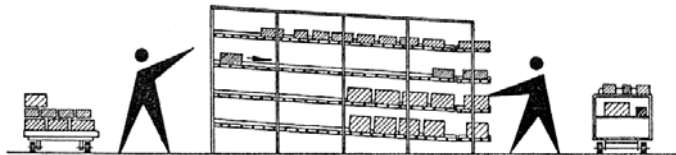
Слика 13-31. Пријем (I) и отпрема (O) на заједничкој локацији



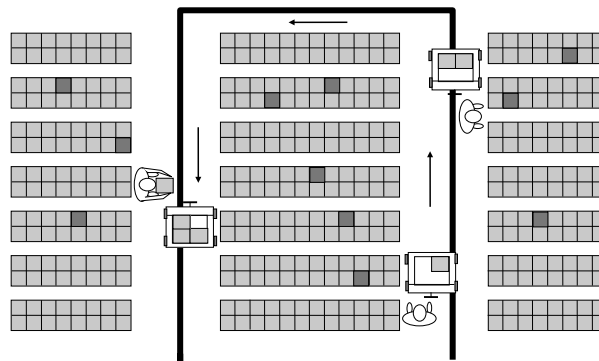
Слика 13-32. Просторно развојени пријем (I) и отпрема (O)



Слика 13-33. Комисионирање робе са фреквентном зоном (A)



Слика 13-34. Допуњавање фреквентне зоне (A)



Слика 13-35. Комисионирање робе са фреквентном зоном у средини. За допуњавање и комисионирање се користе аутоматски вођена колица

13.3.4. Организација процеса комисионирања наручене робе

Са организационог аспекта класификација се може извршити на основу следећих критеријума /Appelt, Krampe 1985/:

- подела на зоне система за комисионирање,
- поступност извршења наруџбине и
- редоследа комисионирања - степена једновремености.

Подела система за комисионирање може бити на једну или више зона. У случају када постоји само једна зона, у току комисионирања се често прелазе велика растојања. Наружбина при томе задржава свој интегритет од почетка до краја процеса. Да би се повећао транспортни учинак комисионирања и омогућило ефикасније управљање, могуће је поделити комисионо складиште на зоне. У оквиру једне зоне ради најмање један или одређена група радника. На овај начин се скраћује пут који радник прелази. При томе, неопходно је предходно разврстати наруџбине према зонама у којима се захтевана роба налази.

Потражња за појединим артиклима на складишту није иста. Постоји роба која се тражи чешће - фреквентна роба, и она роба која се ретко тражи. Према Паретовом закону само мали проценат артикла, од 5 до 20 % се најчешће тражи и он чини 80 до 90 % наруџбина. Увођењем зона са фреквентном робом и њиховим постављањем близу излаза из система, скраћује се време кретања радника и робе. Одређивање величине фреквентне зоне се спроводи на основу детаљне анализе потражње за поједином робом (врста и број артика). Да би се економски исплатило увођење зоне са фреквентним артиклима, потребно је одредити уштеду времена комисионирања, добијену скраћењем транспортног пута, у односу на трошкове њеног увођења и управљања залихама. Потребно је одредити број артикала, који ће се налазити у зони, за које се добијају највеће уштеде у времену.

Величина зоне са фреквентном робом директно утиче на комисионо време. Што је ова зона мања, краћи су транспортни путеви, мање је потребно време за комисионирање и расте продуктивност. С друге стране, смањење фреквентне зоне повећава потребу за допуњавањем из главног складишта. Избор величине ове зоне зависи од специфичних потреба корисника. Увођењем фреквентне зоне скраћење транспортног пута при комисионирању, може да износи и до 50 %. Да би скраћење пута било веће, потребно је одредити оптималан број ходника ове зоне. Однос оптималног броја ходника ове зоне према осталом делу комисионог складишта је пропорционалан односу броја артикала у овим зонама.

13. Складишта

Један пример система са зоном фреквентне робе, постављеном у центру, по принципу "човек роби" је дат на слици 13-33 /Frazelle 1990, 1991/. Фреквентну зону (А) чине проточни регали (1) који се допуњавају јединичним паковањима или палетама, из централног ходника (2). Роба се довози из главног складишта. Остали део комисионог складишта чине полице са мање траженом робом (3).

Комисионирање робе се може обавити у једној или више фаза процеса. Комисионирање у **једној фази** подразумева да се наруџбина испуњава у једном радном циклусу при чему наруџбина не губи свој интегритет. Сортирање је непотребно. Комисионирање у **више фаза** подразумева да се обједињавање наруџбина обавља после једне или више фаза комисионирања. Као пример се наводи групно комисионирање када је сортирање неопходно као додатна фаза.

Групно комисионирање је посебан вид комисионирања када се истовремено издваја роба за више наруџбина. Количине истих артикала се обједињују и заједнички узимају са дате локације. Издвојена роба се сортира и расподељује посебно за сваку наруџбину. Предности групног комисионирање су следеће:

- Смањено је време транспорта и захватања по јединици комисионирања.
- Укупни пут који пређе радник је мањи.
- Повећава се капацитет система за комисионирање.

Основни недостаци групног комисионирања су неопходно предходно разврставање наруџбина ради формирања група и сортирање, што повећава трошкове по јединици комисионирања.

Наруџбине се могу испуњавати, **редно**, тако што свака наруџбина пролази кроз зоне у којима се обавља делимично комисионирање робе или **паралелно**, када се њихово испуњавање обавља приближно истовремено у свим зонама. У првом случају се одржава интегритет наруџбине у току процеса, сортирање је непотребно, потребне су мање инвестиције, али је потребно дуже време. У другом случају сортирање је неопходно, инвестиције су веће, али је потребно време краће и систем је ефикаснији.

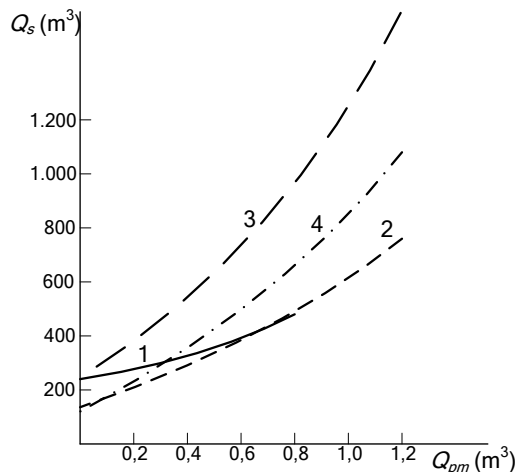
Сталне и случајне локације артикала. Код складиштења са сталним локацијама, артиклима су додељене одређене локације које искључиво служе за њихово складиштење. За разлику од сталних локација, код случајног избора локација, артикал се упућује на прво слободно место. За исти број артикала и за исту вероватноћу попуњавања, складишта са сталним локацијама захтевају већи капацитет у односу на складишта са случајно изабраним локацијама.

Принцип **FIFO**. Применом принципа да се прво износе из складишта артикли који су први и унешени (**First In First Out**), избегава се непотребно

старење робе и губитак услед истека њеног рока трајања. Са друге стране овакво управљање залихама захтева повећани капацитет складишта. За веће коефицијенте обрта робе у складишту није неопходно примењивати **FIFO** принцип. Капацитет складишта зависи од броја и капацитета локација (слика 13-36). Капацитет једне локације је одређен избором складишне јединице и директно утиче на интензитет допуњавања. Са порастом капацитета локација, време допуњавања и комисионирања (čas/smena), прво опада, а затим расте због повећаног растојања које се прелази. При истом капацитету локација, дуже време допуњавања се јавља код складишта са сталним, у односу на складишта са случајно изабраним локацијама /Kunder 1976/.

13.3.5. Количина робе на локацији и димензије локације

Количина робе на локацији у складишту за комисионирање и број локација које заузима један артикал утичу на врсту и величину регала, пролазе између регала и на интензитет пуњења и пражњења. Са порастом броја локација по артиклу смањује се фреквенција допуњавања, а са тиме и транспорт, али се повећава простор који роба заузима. Приликом одређивања количине артикала, треба тежити да та количина производи што мање трошкове и да што дуже буде у облику (**TJ**) у којем је ушла у складиште.



Слика 13-36. Капацитет складишта Q_s у зависности од капацитета локације Q_{pm} ,

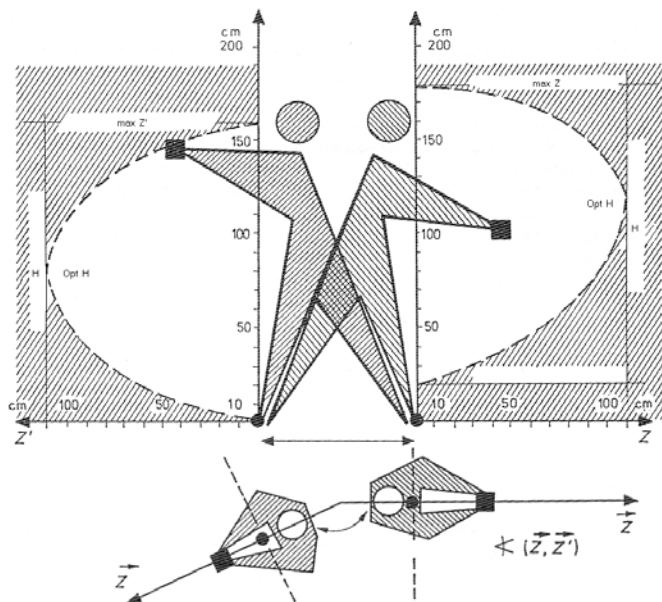
1. Сталне локације без **FIFO**, 2. Случајне локације без **FIFO**,
3. Сталне локације са **FIFO**, 4. Случајне локације са **FIFO**

Димензије локације утичу на интензитет допуњавања и пражњења и одређују дубину и висину регала. Дубина регала и његова висина утичу на потребно време комисионирања (T) наручених артикала, као и на време потребно да се артикал одложи у регал. Такође, ове две величине утичу на време захватања артикала. Са повећавањем дубине и висине регала прво долази до опадања времена путовања и захватања, да би за веће вредности дубине и

13. Складишта

висине регала ово време почело да расте. Оптимално време захватања зависи од дубине и висине регала /Gudehus 1973/.

На слици 13-37 приказан је положај радника код захватања (десна страна) и одлагања (лева страна) робе. Наведене су оптималне висине захватања/одлагања ($Opt\ H$) и препоручена максимална висина захватања 1,8 m и одлагања 1,6 m. Минимална висина захватања износи 0,2 m, а одлагања 0,0 m. Све наведене мере зависе и од дубине захватања која не сме да буде већа од 1,0 m. Фактори за корекцију времена захватања/одлагања дати су у табелици 13-7.



Слика 13-37. Пожељан дијапазон захватања/одлагања терета

Таблица 13-7.

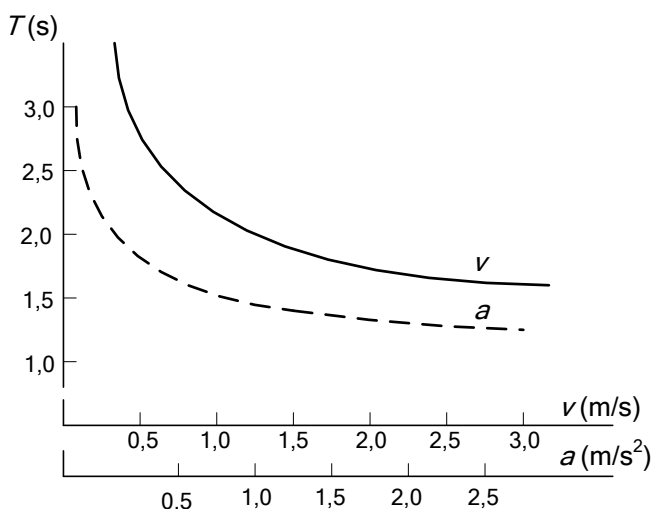
Висина захватања	0,25 m	+ 20 %	1,1 m	+ 0,0 %	1,8 m	+ 20 %
Висина одлагања	0,25 m	+ 20 %	0,8 m	+ 0,0 %	1,8 m	+ 30 %
Дубина захватања	0,10 m	+ 0,0 %	0,5 m	+ 10 %	0,8 m	+ 30 %
Маса за одношење	2 kg	+ 0,0 %	5 kg	+ 10 %	10 kg	+ 35 %
Запремина за одношење	10 dm ³	+ 0,0 %	50 dm ³	+ 6 %	80 dm ³	+ 20 %

13.3.6. Број локација у једном циклусу и утицај брзине и убрзања на време комисионирања

Број локација који се може обићи у једном циклусу комисионирања, одређује средње време кретања по локацији. Ако је број локација које се обиђу у једном циклусу већи, смањује се средње време кретања по локацији, односно време кретања је боље искоришћено. Повећање броја локација утиче на дужину

пута који се пређе у циклусу и зато средње време кретања по локацији не опада пропорционално са повећањем броја локација. Скраћење времена кретања за већи број позиција је све незнатније.

Вредности брзине (v) и убрзања (a) кретања кроз складиште, са или без коришћења транспортног средства, директно утичу на време путовања (T). Повећавањем ових вредности може да се скрати време путовања, до одређене границе. Смањење растојања између локација, са којих се артикли узимају, проузрокује да се не могу достићи максималне брзине, слика 13-38 /Kunder 1976/.



Слика 13-38. Зависност времена кретања од брзине (v) и убрзања (a)

13.3.7. Распоред регала

Избором распореда регала, као једног од кључних утицајних величина на време комисионирања, тежи се минимизирању времена транспорта при допуњавању и пражњењу локација. При одређивању распореда регала потребно је одредити број ходника (c), број блокова регала, број група блокова и међусобни положај појединих група. Предаја робе је у овом случају централизована. Циклус комисионирања почиње из места I/O (пријем/отпрема) и ту се и завршава предајом робе. Главни ходници су пролази између блокова.

Најједноставније решење складишта за комисионирање робе је са једним местом за пријем и отпрему приказано је на слици 13-39 А. Укупна дужина пута кроз ходнике је L при чему је B ширина модула, а L/c дужина регала у ходнику. Пут почиње и завршава се на истом месту. Укупна дужина пута комисионирања је једнака:

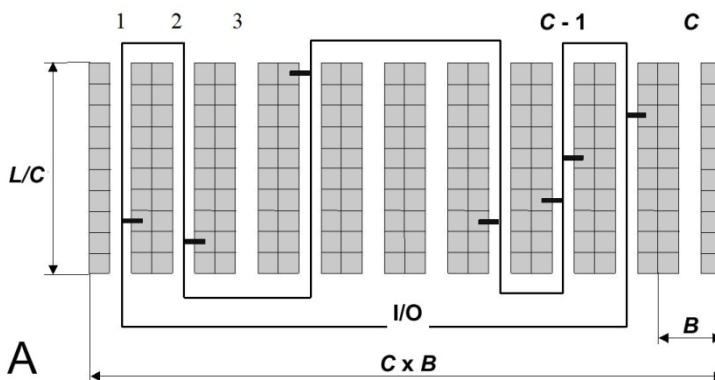
$$L + 2 \cdot (c - 1) \cdot B$$

13. Складишта

Време транспорта кроз складиште зависи и од избора стратегије кретања кроз складиште. Пут који се прелази да се одложи или узме потребан артикал се састоји од дела пролаза између регала и дела пута дуж чеоног дела регала. Дужина пута у ходницима зависи од њиховог броја и дужине. Дужина пута са чеоне стране регала зависи од броја блокова регала и броја пролаза које треба обићи. У пролазе, односно ходнике, из којих се роба не узима се не улази. Са порастом броја блокова регала повећава се и вероватноћа појављивања ходника у које се не улази јер у њима неће бити тражених артикала, па се пут може скратити.

Распоред регала А (слика 13-39) има краће путеве са чеоне стране регала, али има додатни пут испред блокова регала, од и ка узлазно/излазном месту. Са порастом броја ходника после минимума, долази до раста средњег времена кретања по једној локацији, због све дужег пута по циклусу. Крива за одређени број ходника има свој минимум који представља оптималан број ходника у складишту. Распоред регала В (слика 13-40), омогућује прелаз из једног у други блок, тако да се скраћују путеви са чеоне стране регала. Главни ходници су постављени управно у односу на ходнике регала. Распоред регала са централним ходником и бочно постављеним регалима - С, дат је на слици 13-41. На слици 13-42 наведене су криве за распоред А, В и С, и дат је однос средњег времена комисионирања по позицији, у зависности од броја ходника /Лаврош 1997/.

Приказани резултати важе за праволинијски распоређене локације као и у случају када су локације распоређене са обе стране ходника. Попречно кретање за ширине ходника до 3 m, садржано је у приказаном поступку са задовољавајућом тачношћу. За веће ширине ходника уводе се допунски фактори.

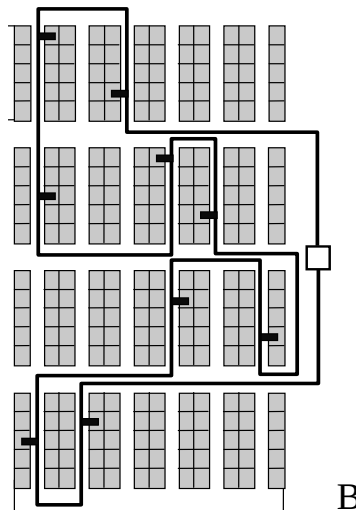


Слика 13-39. Стратегија кретања А

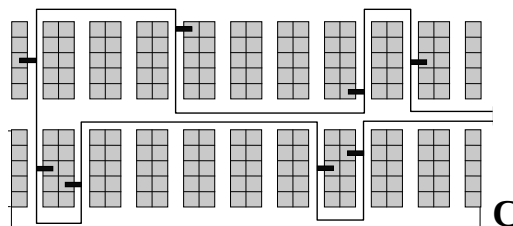
13.3.8. Оптимални пут кретања у комисионом складишту

Стратегија обиласка појединих локација директно утиче на дужину пута радника у комисионирању. Основни циљ је да пређени пут буде минималан. Кретање у процесу комисионирања ("човек роби") обухвата кретање кроз ходнике између регала, односно блокова регала. Оптимизација кретања радника се своди на проблем "Трговачког путника" /Зрнић, Косанић 1996/. У литератури су дата решења за неке распореде регала, навешће се само она који се често користе. У даљем тексту су приказани алгоритми кретања радника /Goetschalckx, Ratliff 1988/. Прептоставља се следеће:

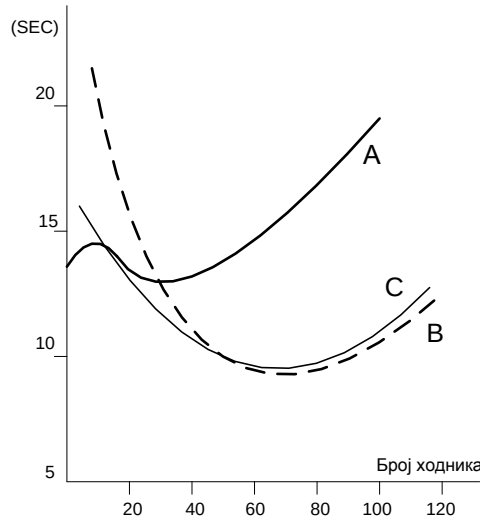
- радник се креће по поду, праволинијски од једне до друге позиције;
- радник у ходнике улази/излази из средине просторије;
- број локација у регалима је исти на обе стране ходника;
- локације су истих димензија;
- најмања ширина ходника је 3,0 m, за двосмеран саобраћај 3,5 m;
- радник не може да дохвати артикал са друге стране ходника без промене положаја.



Слика 13-40. Стратегија кретања В



Слика 13-41. Стратегија кретања С



Слика 13-42. Средња времена комисионирања ($s/proz$) зависно од броја ходника

Први је развијен "Z" хеуристички алгоритам. Касније су развијени "Траверсал", алгоритам "Са враћањем", алгоритам "Са делимичним враћањем" и др. Називи алгоритама су дати према начину кретања кроз ходник /Goetschalckx, Ratliff, 1988/.

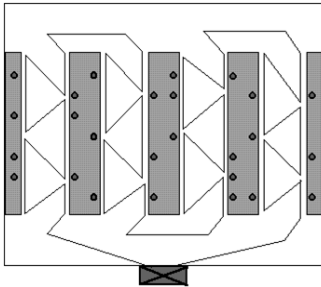
Један од највише коришћених начина кретања у ходнику је Z модел, где се обилази свака локација. Распоред кретања је сталан за све наруџбине, без обзира на садржај њихових захтева. Погодност је што се распоред кретања одреди једном и више се не мења (слика 13-43). Овакав распоред обилазака локација је погодан за наруџбине које садрже артикле са свих локација. Како то обично није случај, развијен је оптимални Z начин кретања.

Код оптималног Z модела посећују се само локације са којих се узимају артикли (слика 13-44). Овај начин кретања даје краће путеве, али је потребно за сваку наруџбину одредити нову путању кретања. Z модел се обично користи, за приближан прорачун у току пројектовања складишта. Оптимални Z начин кретања користи се за конкретне наруџбине у складишту. Применом рачунара, оптимални Z алгоритам може да одреди оптималне путање у реалном времену, за сваку конкретну наруџбину. Приказана кретања су предвиђена за једносмерни саобраћај (код ужих ходника).

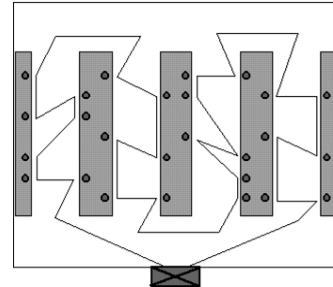
Основни облик "Траверсал" модела је "цик-цак" кретање. Када радник узме артикал са једне локације креће се ка најближој следећој локацији, тако да често прелази на другу страну ходника (слика 13-45). Дефинисање алгоритма за налажење најкраћег пута по овом моделу може се поистоветити са проблемом "Трговачког путника". Проблем обухвата одређивање редоследа

узимања унутар ходника и редоследа обилажења самих ходника. За дати распоред регала и улазно/излазног места могуће је одредити оптимални пут између ходника. Први ходник који се обилази биће ходник са леве или са десне стране складишта, и када се заврши узимање у том ходнику радник прелази у следећи ходник. Када стигне до краја последњег ходника враћа се ка излазу.

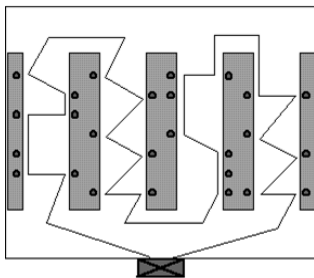
Ако је број ходника паран, у сваком ходнику може да се примени "Траверсал" начин кретања, а ако је непаран у једном од ходника треба применити начин са враћањем. Код модела "Са враћањем" (слика 13-46) радник прво узима све артикле са једне стране ходника, пређе на другу страну ходника, и враћајући се кроз исти ходник узима артикле са друге стране. На основу датог алгоритма, рачунаром може да се одреди редослед узимања артикала у реалном времену. Код модела "Траверсал" предвиђено је једносмерно кретање кроз ходнике, док је код кретања "Са враћањем" неопходно обезбедити двосмерне ходнике /Goetschalckx, Ratliff 1988/.



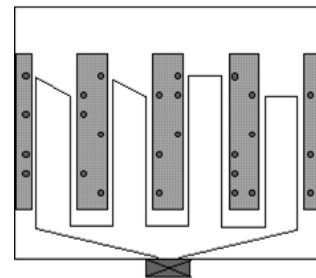
Слика 12-43. Z начин кретања



Слика 12-44. Оптимални Z начин кретања



Слика 12-45. Траверсал кретање



Слика 12-46. Кретање са враћањем

Оптимални Z начин кретања има 30 % већу дужину пута него "Траверсал". За "Траверсал" начин кретања је важна "густина узимања" и ширина ходника да би се одредила дужина пута. Густина узимања је однос броја локација које се обиђу у току једног циклуса комисионирања и укупног броја локација у процентима. Начин кретања "Са враћањем" је бољи само за случајеве где је густина узимања веома велика, односно када је блиска укупном броју локација. Гранична густина узимања, између "Траверсал" и кретања "Са враћањем" је мања што је ширина ходника већа. Када је ширина ходника 3 m, гранична

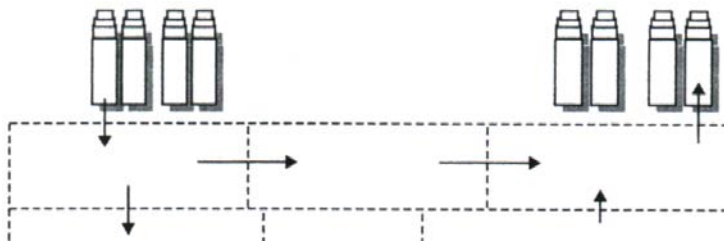
густина износи 75 %, а за 5 m, она је око 50 %. За већину практичних проблема "Траверсал" кретање је боље. Ако је густина узимања велика, најбоље је да се израчуна дужина пута помоћу обе методе, а затим да се усвоји она која даје краћи пут. За густине до 50 % боље је узимати артикле са обе стране ходника у једном пролазу, а ако је густина већа, артикле треба узимати прво са једне стране, а затим при враћању, са друге стране ходника.

13.4. Cross-Docking

Cross-Docking (CD) је логистички термин који означава праксу да се из долазне пошиљке (камиона, вагона итд.), са мало или без складиштења претовара роба и одмах отпрема средствима спољног транспорта (камионима, вагонима итд.). У пракси се то може извести спајањем две или више пошиљки или пак препакивањем више артикала из појединих пошиљки у јединствену пошиљку која одговара клијенту. Допремљене палете на одељењу пријема, се сортирају према специфичним захтевима купаца и утоварују у возила којима се одвозе.

Овакав начин претовара има ту предност када се производ генерално испоручује у већој количини и када је минимизирана манипулација појединим производима. Претовар пријема и отпреме робе координирају на такав начин да се долазни ток директно пребацује на одељење за отпрему без складиштења. Тако да, роба није ушла у складиште систем, односно да се по могућству ствара систем чистог претовара са циљем да се: смање залихе дуж ланца снабдевања, смањи време протока артикала у систему, повећа ефикасност избегавањем стандардних корака у процесу складиштења и омогући ефикасно сортирање артикала према дестинацијама (експрес испоруке).

Веће количине (палете) се обично претоварују механичким средствима као што су виљушкар, са мало учешћа ручног рада. Ако палете морају да се раздвоје на мање јединице, или се формирају нове јединице ово се може лакше обавити на простору који није ограничен складишним регалима. Ово олакшава употребу механичким средстава и омогућава лакши приступ запослених производима. Шематски приказ система Cross-Docking дат је на слици 13-47.



Слика 13-47. Cross-Docking

Систем није практичан за дистрибутивна складишта, у сличају када се ретко траже пуне палете и разноврсност производа захтева више простора на поду него што је практично. Процес захтева високи ниво координације долазећих и одлазећих производа. Систем је практичан када роба која се истоварује захтева мало или никакво складиштења пре отпреме. Оваква стратегија дистрибуције омогућава брзо кретање кроз складиште и представља ефикасно решење да се побољша услуга превоза купцима и смање трошкови прераде и складиштења.

Примена Cross-Docking-а помера тежиште са "ланца снабдевања" на "ланац тражње". Долазни материјал још пре доласка на претовар је претходно додељен крајњим потрошачима у ланцу снабдевања. Материјали допремљени до централне локације, сортирају се према испоруци на разне дестинације. Тако да се мање пошиљке комбинују и формирају већу пошиљку за економичнији транспорт. Такође, велике пошиљке по потреби, могу се поделити на мање делове ради лакше испоруке.

Концепт примене претовара робе без дужег задржавања на складишту је популаран већ низ година. Данашње информационе технологије и приступ подацима у реалном времену омогућавају ово атрактивно решење за убрзавање ланца снабдевања, смањење трошкова рада, и краће време новчаних циклуса. Међутим, успешна реализација, управљање, и спровођење процеса захтева до детаља планирање свих циклуса. Велики обрт, знатан обим робе и предвидљива потражња утичу на економију пословања, односно омогућавају смањење трошкова превоза до одредишта. Предвидљивост тражње (предвиђени захтеви) помажу да се обезбеди прави производ на правом месту у право време са правим количинама.

Правилно планиран и изведен програм Cross-Docking-а може довести до знатног смањења времена, рада и простора у односу на класичне методе складиштења: Пријем, складиштење, захватање, сортирање и отпрема. Предности оваког претовара у ланцу снабдевања обухватају:

- смањење трошкова пословања,
- повећану брзину допреме робе на тржиште, конкурентске предности,
- смањење и повећан обрт залиха,
- смањен потребан простор за складиштење, захватање и сортирање,
- смањена количина рада потребана за ускладиштење, захватање и сортирање,
- смањени трошкови радне снаге и транспорта,
- смањена могућност оштећења,
- смањен ризик застаревања производа,
- смањена могућност оштећења производа,
- смањен транзитни пут,
- краће време испоруке робе на тржиште и
- бржи проток новца

Постоје потенцијална ограничења и препреке за имплементацију система. Иако је евидентна корист од правилно планираног и изведеног програма претовара, сложена администрација може да буде значајан недостатак. Да би се постигао успех, важно је да су детаљи о предложеној примени у блиској координацији са организацијама које подржавају систем (корисници и добављачи). Посебно је значајно поседовање квалитетног **ИТ** система, поштовање оперативних ограничења и начин пословања крајњих корисника.

Током протеклих неколико година, конкуренција у сектору малопродаје је значајно порасла као резултат појаве испорука директно до потрошача (online куповина). Велика конкуренција доводи до повећаног притиска на предузећа да смање залихе, поједноставе дистрибутивне процесе, смање ланац снабдевања и логистичке трошкове. Cross-Docking се показао као вредно средство у смањењу трошкова и синхронизованог протока робе у малопродајним објектима путем пажљивог планирања и блиске сарадње између добављача и крајњих корисника.

Постоје два принципа за рад система Cross-Docking:

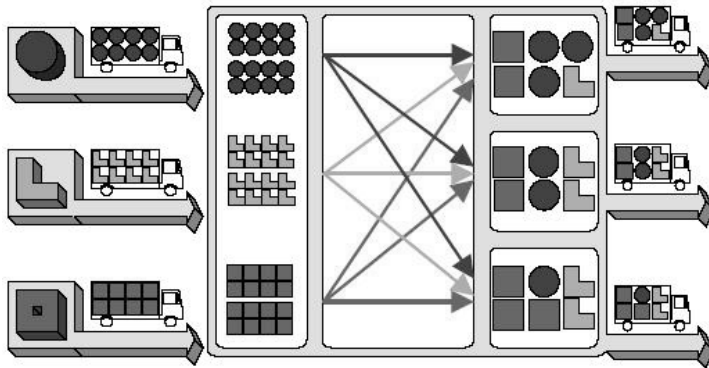
- претовар са препакивањем палета и
- претовар као проточни систем.

Cross-Docking са препакивањем палета. Долазне јединице се према захтеву појединачних наручиоца обично претоварују на рол палете. Принцип који се обично назива **CD** на два нивоа. Основна карактеристика ове методе је процес одабира поруџбина (комисионирања) на пријему.

Cross-Docking као проточни систем. Добављач унапред сортира долазне јединице према захтеву наручиоца на такав начин да се поједине јединице не морају препакивати и дистрибуирају се саме или у комбинацији са другима јединицама за истог наручиоца. Овај принцип се назива **CD** на једном нивоу, односно палетни **CD**. Уколико су унапред (претходно) сортиране наруџбине, роба се само претовара без пребројавања. Шематски приказ система Cross-Docking проточног система је приказан на слици 13-47.

Ефикасан начин је да се роба директно транспортује испоручиоцу (online). Међутим, ово захтева да је жељена количина доступна у веома кратком року, тако да је ризик од несташице веома висок, због недостајућих залиха. Такође, практично је немогуће вратити артикле у случају отказивања. У пракси овај метод је погодан само за системе са релативно константном потражњом, сличним количинама и артиклима, кратким интервалима испоруке и растојањима до наручиоца. На пример код испоруке свеже робе. **CD** је логистичка пракса да је централни део стратегије ефикасна попуна залиха. Роба обично прелази са једног на други претовар у року од 24 сата или мање.

Камиони који се враћају празни (без повратног транспорта) узимају непродату робу.



Слика 13-48. Cross-Docking проточног система

Технологија игра кључну улогу у ланцу снабдевања и служи као темељ њиховог ланца снабдевања (велика информациона технолошка инфраструктура). Потребно је прецизно предвиђање потражње, структуре и захтевани ниво залиха, ефикасне саобраћајнице, управљање односима са клијентима и савремена логистика.

Компанија Walmart (USA) је прва почела да користи **RFID** радио фреквентну идентификацију (**R**adio **F**requency **I**dentification), која користи нумеричке шифре које могу да се скенирају са даљине и да прате палете које се крећу дуж ланца снабдевања. Према истраживању спроведеном на Универзитету у Арканзасу, у Walmart-у је дошло је до смањења 16 % трошкова пословања коришћењем **RFID** технологије у свом ланцу снабдевања.

13.5. Математички модел процеса комисионирања

Структура времена комисионирања (припрема наруџбина) је дата изразом:

$$t_{pn} = t_{st} + t_{din} \quad (13.1)$$

где је:

t_{st} - статичко време, које обухвата све послове везане за припрему робе за дистрибуцију (радник мирује у току комисионирања),
 t_{din} - време кретања радника између локација са којих захвата робу (пешке или транспортним средством), од добијања налога до предаје робе.

Статичко време је дато изразом:

$$t_{st} = t_p + t_z + t_d \quad (13.2)$$

где је:

t_p - припремно време (обухвата читање листе са наруџбенице, узимање контејнера за пренос робе, тражење локације, читање ознаке на регалу и обраду налога); износи у просеку 10 - 15 s/loкацији,

t_z - време захватања (узимање робе са дате локације, преношење и постављање робе на транспортно средство), за нормалне услове рада износи у просеку 3 - 6 s/roz, зависно од масе и димензија паковања, као и од дубине и висине регала,

t_d - додатно време (s), обухвата преузимање нове наруџбенице, узимање транспортног средства код ручног комисионирања, предају припремљене робе и сл., зависи од layout-а и примењеног транспортног уређаја:

$t_d = 75 - 300$ (за ручна палетна колица),

$t_d = 70 - 250$ (за специјални виљушкар),

$t_d = 55 - 200$ (за високорегалну дизалицу).

Укупно време за припрему наруџбина у току дана износи /Зрнић, Савић 1990/:

$$T_{pn} = N \cdot \left[\left(\overline{t_p} + \overline{t_z} \cdot m + \overline{t_{din}} \right) \cdot n + \overline{t_d} \right] \quad (13.3)$$

где је:

N - просечан број наруџбина у току дана,

$\overline{t_p}$ - просечно припремно време по локацији која се опслужује (s),

$\overline{t_z}$ - просечно време захватања робе (s),

m - просечан број артикала (позиција) који се узима из дате локације,

$\overline{t_{din}}$ - просечно време кретања по једној локацији (s),

n - просечан број локација који се обиђе по једној наруџбини,

$\overline{t_d}$ - просечно додатно време по једној наруџбини (s).

Кретање може да буде једнодимензионално (по поду), дводимензионално регалном дизалицом, или тродимензионално дизалицама. Узимање робе обавља се ручно, а тешка или гломазна роба механичким уређајима. Код погодних артикала и великих наруџбина захватање може да буде аутоматизовано помоћу робота или манипулатора. Време кретања зависи од начина узимања робе са локација и може да се обави на два начина:

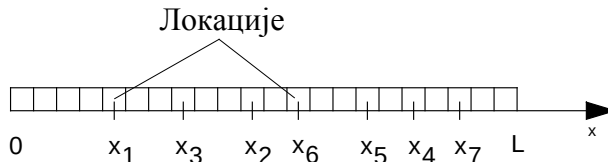
- узимање робе без стратегије, када радник у току комисионирања узима робу према редоследу на листи наруџбина без претходног сврставања позиција према положају појединих локација, и
- узимање робе са стратегијом, када су позиције са листе наруџбина поређане према њиховој удаљености у односу на место уласка радника у зону за припрему робе; оваква организација захтева додатну обраду

листе, али се постиже знатна уштеда у комисионирању по принципу "човек роби".

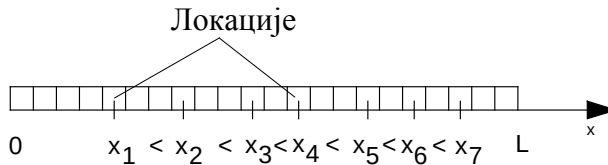
13.5.1. Одређивање динамичког времена комисионирања

Комисионирање при једнодимензионалном кретању ("човек роби") обухвата два случаја /Gudehus 1973, 2005/:

- Комисионирање **без стратегије** (слика 13-49). Позиције (n) у нарудбеници су неуређене, а локације x_i , са којих се роба захвата, су случајне у односу на редослед комисионирања.
- Комисионирање **са стратегијом** (слика 13-50). Позиције у нарудбеници су уређене. Локације x_i , са којих се захвата роба, су распоређене у растућем низу.



Слика 13-49. Комисионирање без стратегије ($n = 7$)



Слика 13-50. Комисионирање са стратегијом ($n = 7$)

Локације могу бити у регалу или на некој површини по којој се радник креће у току комисионирања. Пењање радника ради дохватања робе са виших локација и подизање терета, узима се као задржавање радника на локацији.

Распоред локација може да се представи помоћу дужи L . На основу израза за израчунавање времена кретања: $t(x) = \frac{v}{a} + \frac{x}{v}$, за $x \geq \frac{v^2}{a}$ добија се време потребно за комисионирање свих n позиција једне нарудбине:

$$t_n(P_1 \dots P_n) = (n+1) \frac{v}{a} + \frac{x_1}{v} + \frac{L - x_n}{v} + \sum_{i=2}^n \frac{|x_i - x_{i-1}|}{v} \quad (13.4)$$

При томе кретање почиње из $x_p = 0$ и завршава се у крајњој тачки $x_k = L$. У анализи није укључно време кретања од тачке x_k назад до x_p уколико се тачке не поклапају.

13. Складишта

Просечно време комисионирања комплетне наруџбине која садржи n позиција ($\bar{t}_n$), када је вероватноћа избора иста за све локације, добија се сумирањем једначине (13.4) за све могуће положаје тачака P_i , које означавају положаје локација са којих се захвата роба и дељењем са бројем положаја тачака. У реалном систему је број положаја ограничен. Ако за прорачун средњих вредности уведемо и тачке које се налазе између локација на бројној оси, може се уместо сумирања извршити интеграција. Тиме се добија једноставнији аналитички израз. Грешка која се при томе прави је оправдана из два разлога:

- због сукцесивног захватања са локација положај радника се мења континуално,
- ако се локације налазе на истој страни и на коначном растојању l тада је грешка настала интеграцијом, за више од 10 локација, мања од 5 % (за $L/l > 10$).

При једнодимензионалном комисионирању **без стратегије** средња вредност времена кретања на основу (13.4), кроз n интеграција преко свих x_i и дељењем са могућим бројем положаја тачке L^n износи:

$$\bar{t}_n = \frac{1}{L^n} \int_0^L dx_1 \int_0^L dx_2 \dots \int_0^L dx_n t_n(x_1 \dots x_n) \quad (13.5)$$

При томе су $t_n(x_1, \dots, x_n) = t_n(P_1, \dots, P_n)$ дати у (13.4). За израчунавање израза се користе интеграл:

$$I_1 = \frac{1}{L} \int_0^L dx \frac{x}{v} = \frac{1}{2} \cdot \frac{L}{v} \quad (13.6)$$

$$I_2 = \frac{1}{L^2} \int_0^L dx \int_0^L dx' \frac{|x - x'|}{v} = \frac{1}{3} \cdot \frac{L}{v} \quad (13.7)$$

Из израза (13.6) може да се добије средње време подизања:

$$\bar{t}_{pod} = \frac{v_y}{a_y} + \frac{1}{2} \cdot \frac{H}{v_y} \quad (13.8)$$

Први интеграл I_1 дефинише средње време убрзања/кочења при вожњи између жељене тачке на бројној оси и крајње тачке пута дужине L . Други интеграл I_2 дефинише средње време вожње између две тачке на бројној оси. При томе није обухваћена вожња у нестационарном режиму.

На основу израза (13.6), (13.7) из (13.5) добија се вредност за средње време кретања при комисионирању n артикала:

$$\overline{t_n} = (n+1) \cdot \frac{v}{a} + \frac{L}{v} + (n-1) \cdot \frac{1}{3} \cdot \frac{L}{v} \quad (13.9)$$

Одавде следи, средње време кретања за комисионирање једног артикла (једне позиције) $\overline{t_{din}} = \overline{t_n} / n$, при једнодимензионалном кретању без стратегије износи:

$$\overline{t_{din}} = \frac{n+1}{n} \cdot \frac{v}{a} + \frac{1}{n} \cdot \frac{L}{v} + \frac{n-1}{n} \cdot \frac{1}{3} \cdot \frac{L}{v} \quad (13.10)$$

Први члан израза дефинише време убрзања и кочења, други члан дефинише део времена кретања од почетка комисионирања до места предаје робе и последњи члан дефинише време кретања између две локације. У случају када је $n > 20$, средње време кретања $\overline{t_{din}}$ може се приближно израчунати (са грешком мањом од 10 %) из израза:

$$\overline{t_{din}} \approx \frac{v}{a} + \frac{1}{3} \cdot \frac{L}{v} \quad (13.11)$$

При једнодимензионалном кретању **са стратегијом** пута потребно је узети у обзир да су тачке које представљају локације уређене у растућем низу:

$$x_1 < x_2 < x_3 < \dots < x_{n-1} < x_n \quad (13.12)$$

Средње време кретања дато је изразом /Gudehus 1973/:

$$\overline{t_n} = \frac{\int_0^L dx_n \int_0^{x_n} dx_{n-1} \dots \int_0^{x_3} dx_2 \int_0^{x_2} dx_1 t_n(x_2 \dots x_n)}{\int_0^L dx_n \int_0^{x_n} dx_{n-1} \dots \int_0^{x_3} dx_2 \int_0^{x_2} dx_1} \quad (13.13)$$

При томе се за $t_n(x_1, \dots, x_n)$ поново корисити израз (13.4). Израз (13.13) се релативно лако израчунава. Користе се следећи интеграл:

$$I_n^0 = \int_0^L dx_n \int_0^{x_n} dx_{n-1} \dots \int_0^{x_3} dx_2 \int_0^{x_2} dx_1 = \frac{L^n}{n!} \quad (13.14)$$

$$I_n^1 = \frac{n!}{L^n} \cdot \int_0^L dx_n \int_0^{x_n} dx_{n-1} \dots \int_0^{x_3} dx_2 \int_0^{x_2} dx_1 \frac{x_1}{v} = \frac{1}{v} \cdot \frac{L}{n+1} \quad (13.15)$$

$$I_n^i = \frac{n!}{L^n} \cdot \int_0^L dx_n \int_0^{x_n} dx_{n-1} \dots \int_0^{x_3} dx_2 \int_0^{x_2} dx_1 \frac{|x_{i-1} - x_i|}{v} = \frac{1}{v} \cdot \frac{L}{n+1} \quad (13.16)$$

Значења ових интеграла су следећа:

- Први интеграл I_n^0 представља број различитих наруџбина из тачака $P_1, \dots, P_n$ на делу пута дужине L , које су уређене према изразу (13.12).
- Други интеграл I_n^1 дефинише средње време кретања од почетка пута $x_p = 0$ до прве од n тачака уређених према изразу (13.12). Истовремено овај интеграл представља и средње време кретања од последње n -те тачке до краја пута $x_k = L$.
- Трећи интеграл I_n^i који је исти за сваку i -ту вредност, представља средње време кретања између две узастопне тачке P_{i-1} и P_i , када се комисионирање изводи са стратегијом (13.12).

Резултат интеграције је:

$$I_n = I_n^1 = I_n^i = \frac{1}{v} \cdot \frac{L}{n+1} \quad (13.17)$$

Одавде следи да је *средње време кретања између било које две суседне тачке од n уређених тачака на делу пута дужине L једнако времену кретања на путу $L/(n+1)$* . За $n = 2$ интеграл у изразу (13.7) је специјални случај општег интеграла I_n датог изразом (13.17), јер редослед локација нема утицаја. Време кретања при обиласку n локација, на основу (13.14), (13.15), (13.16) из (13.13) следи да је:

$$t_n = (n+1) \cdot \frac{v}{a} + \frac{L}{v} \quad (13.18)$$

Овај једноставан израз се могао добити и без примене интеграла следећим начином размишљања: независно од броја n , радник мора да прође целокупну дужину L , од почетка до краја, да би прикупио робу. За то му је неопходно време дефинисано преко (13.18), где први део релације представља допунско време за $(n+1)$ убрзања и успорења. Из добијеног резултата произлази да средње време кретања за комисионирање једног артикла $\overline{t_{din}}$ при *једнодимензионалном комисионирању са оптималном стратегијом* износи:

$$\overline{t_{din}} = \frac{n+1}{n} \cdot \frac{v}{a} + \frac{1}{n} \cdot \frac{L}{v} \quad (13.19)$$

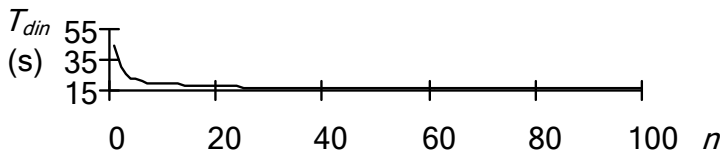
Упоређивањем релација (13.10) и (13.19) може се закључити да средње време кретања у случају комисионирања робе без стратегије веће за израз:

$$\frac{n-1}{n} \cdot \frac{1}{3} \cdot \frac{L}{v} \quad (13.20)$$

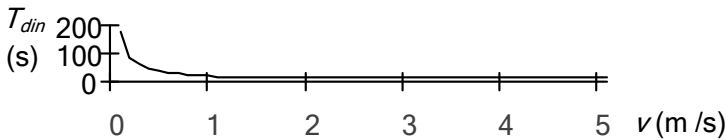
Уобичајене вредности брзине v (m/s) и убрзања a (m/s²) код једнодимензионалног кретања износе:

- | | | |
|---|-----------------|-----------------|
| • пешке без терета | $v = 1,1 - 1,4$ | $a = 1,5 - 2,1$ |
| • пешке са теретом до 15 kg | $v = 1,1 - 1,4$ | $a = 0,9 - 1,3$ |
| • пешке са колицима и теретом масе до 50 kg | $v = 0,9 - 1,0$ | $a = 0,8 - 1,3$ |
| • са електричним палетним колицима | $v = 2,4 - 2,8$ | $a = 1,1 - 1,9$ |

Дијаграми у овом поглављу добијени су на основу аналитичких модела помоћу програма "КОМИ" /Лаврош 1996/ и /Ћупрић 2003/. Анализиран је утицај основних фактора на вредност T_{din} , при кретању "човек роби", зависно од примењене стратегије комисионирања робе. Приказани су утицаји броја локација n са којих се роба захвата, просечне дужине пута L који се при томе прелази, просечне брзине v кретања радника или возила између локација и просечног убрзања a , које представља средњу хармонијску вредност убрзања и успорења. На слици 13-51 дат је утицај броја локација на време комисионирања. Слика 13-52 приказује утицај просечне брзине кретања на време комисионирања. Слика 13-53 приказује утицај просечног убрзања на време комисионирања. На Слици 13-54 дат је утицај средње дужине пута на време комисионирања. Подаци наведени на сликама 13-51 до 13-54 се односе на једнодимензионално кретање **без стратегије**.



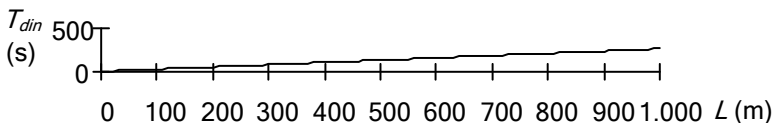
Слика 13-51. Утицај броја локација (n) на динамичко време комисионирања.



Слика 13-52. Утицај просечне брзине кретања на динамичко време комисионирања



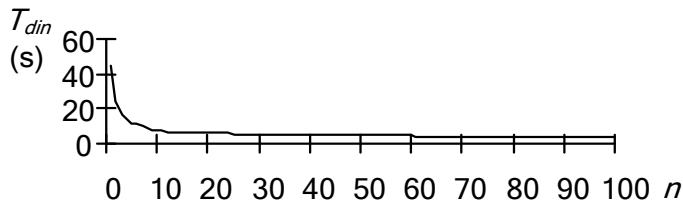
Слика 13-53. Утицај просечног убрзања на динамичко време комисионирања.



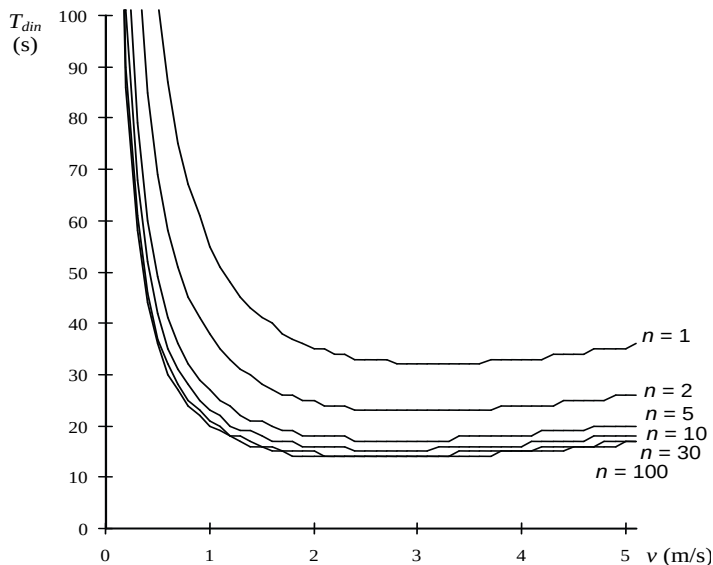
Слика 13-54. Утицај средње дужине пута на време комисионирања.

13. Складишта

У даљем тексту су дати дијаграми за случајеве једнодимензионалног кретања ("човек роб") **са стратегијом**. Утицај броја локација на време комисионирања је дат на слици 13-55. На слици 13-56 приказан је утицај просечне брзине кретања на време комисионирања зависно од броја локација које се обилазе.



Слика 13-55. Утицај броја локација (n) на време комисионирања



Слика 13-56. Утицај просечне брзине кретања на динамичко време комисионирања зависно од броја локација (n) које се обилазе

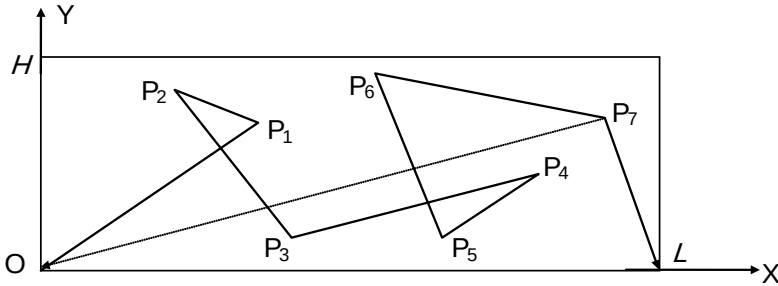
13.5.2. Време комисионирања при дводимензионалном кретању /Gudehus 1973/

Дводимензионално кретање подразумева истовремено кретање дуж ходника (регала) и подизање кабине регалне дизалице. Као и у предходном случају разликују се два начина комисионирања:

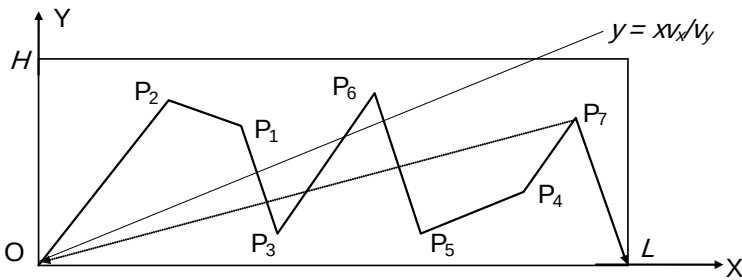
- Комисионирање без стратегије (Слика 13-57). Позиције на налогу за комисионирање нису уређене и не постоји корелација између локација $P(x_i, y_i)$ са којих се роба захвата.

- Комисионирање са стратегијом (Слика 13-58). Позиције на наруџбеници су поређане на основу одређене стратегије, тако да на пример, x координате локација које следе једна другу $P(x_i, y_i)$, $i = 1, \dots, n$ граде растући низ:

$$x_1 < x_2 < x_3 < \dots < x_{n-1} < x_n \quad (13.21)$$



Слика 13-57. Дводимензионално комисионирање без стратегије.



Слика 13-58. Дводимензионално комисионирање са стратегијом.

За разлику од једнодимензионалног комисионирања, код дводимензионалног се јављају различите стратегије кретања које имају смисла (анализиран је и утицај висине H и брзина и убрзања у односу на x и y -осу). Теоријски је оптималан онај пут који повезује n тачака најкраћим временом кретања. Овај проблем се најчешће решава методом "Трговачког путника". У граничном случају код дугачких и ниских ходника када $H/L \rightarrow 0$, дводимензионална стратегија прелази у једнодимензионалну стратегију. Према томе, постоји аналогија између (13.12) и (13.21). Наведена једнодимензионална стратегија се може применити на дводимензионално кретање тако што се површина на којој се налазе локације дели на одређени број трака на које се прелази с десна на лево и с лева на десно. Ова стратегија се назива "стратегија трака" и њоме се редукују повратни путеви од последње локације до места отпреме. Дељењем површине на довољан број трака смањује се потреба за вертикалним кретањем и на тај начин се смањује и средње време кретања. Прорачун средњег времена кретања, као и одређивање критеријума у стратегији трака, могућ је тек након прорачуна средњег времена за једноставну стратегију (13.21).

13. Складишта

Време кретања за комисионирање n позиција једне наруџбине дато је изразом:

$$t_n(P_1 \dots P_n) = t_a(UP_1) + \max \left\{ \frac{|x_1|}{v_x}, \frac{|y_1|}{v_y} \right\} + t_a(P_n I) + \max \left\{ \frac{|x_n - L_A|}{v_x}, \frac{|y_n|}{v_y} \right\} + \sum_{i=2}^n \left[t_a(P_{i-1} P_i) + \max \left\{ \frac{|x_i - x_{i-1}|}{v_x}, \frac{|y_i - y_{i-1}|}{v_y} \right\} \right] \quad (13.22)$$

Кретање у току комисионирања почиње у доњој левој тачки регала означеној $U(0,0)$ и завршава се у тачки $L_A(L,0)$. Прорачун је потребно урадити за оба случаја $L_A = 0$ и $L_A = L$. За $n > 2$ међуположаји тачака практично не утичу на средње време сложеног циклуса, као ни положаји изнад те осе.

Код одвојених улаза и излаза треба истовремено узети у обзир и време по једној наруџбини за повратни пут од тачке предаје робе $I(x_i, y_i)$ до тачке улаза $U(x_y, y_y)$.

$$t(IU) = \frac{1}{n} \left[t_a(IU) + \max \left\{ \frac{|x_I - x_U|}{v_x}, \frac{|y_I - y_U|}{v_y} \right\} \right] \quad (13.23)$$

При дводимензионалном кретању **без стратегије**, средње време комисионирања једне наруџбине добија се двоструком интеграцијом израза (13.22) свих тачака x_i и y_i ($i = 1, \dots, n$) и дељењем са укупним бројем положаја тачака $A^n = (L \cdot H)^n$:

$$\bar{t}_n = \frac{1}{(LH)^n} \int_0^L dx_n \int_0^H dy_n \dots \int_0^L dx_2 \int_0^H dy_2 \int_0^L dx_1 \int_0^H dy_1 t_n(P_1 \dots P_n) \quad (13.24)$$

При томе је $t_n(P_1, \dots, P_n)$ дато предходним изразом (13.22), и ако се он уврсти у (13.24), добијају се следећи интеграл:

$$I_1 = \frac{1}{LH} \int_0^L dx \int_0^H dy \max \left[\frac{x}{v_x}, \frac{y}{v_y} \right] \quad (13.25)$$

$$I_2 = \frac{1}{(LH)^2} \int_0^L dx \int_0^H dy \int_0^L dx' \int_0^H dy' \max \left[\frac{|x - x'|}{v_x}, \frac{|y - y'|}{v_y} \right] \quad (13.26)$$

као и

$$B_1 = \frac{1}{LH} \int_0^L dx \int_0^H dy t_a(UP) \quad (13.27)$$

$$B_2 = \frac{1}{(LH)^2} \int_0^L dx \int_0^H dy \int_0^L dx' \int_0^H dy' t_a (PP') \quad (13.28)$$

где је:

I_1 - интеграл који даје средње време кретања између улаза $U(0,0)$ и жељене тачке $P(x,y)$ у зони комисионирања дужине L и висине H . При томе није узето у обзир средње време кочења и убрзања B_1 .

I_2 - интеграл који даје средње време кретања између две жељене тачке у зони комисионирања. При томе није узето у обзир средње време убрзања и кочења B_2 .

Резултат интеграла је /Mertens 1966/:

$$I_1 = \begin{cases} \frac{L}{v_x} \cdot \left(\frac{1}{2} + \frac{1}{6} \alpha^2 \right) & \text{za } \alpha \leq 1 \\ \frac{H}{v_y} \cdot \left(\frac{1}{2} + \frac{1}{6} \alpha^{-2} \right) & \text{za } \alpha > 1 \end{cases} \quad (13.29)$$

Параметар α представља "коефицијент облика регала":

$$\alpha = \frac{H}{L} \cdot \frac{v_x}{v_y} \quad (13.30)$$

и дефинише правац брзине:

$$y = \frac{v_y}{v_x} \cdot x \quad (13.31)$$

У случају да је $\alpha < 1$ правац брзине сече горњу хоризонталу регала паралелну основи, а у случају када је $\alpha > 1$ правац брзине пролази кроз вертикалну страницу регала. Решење интеграла I_2 је:

$$I_2 = \begin{cases} \frac{L}{v_x} \cdot \left(\frac{1}{3} + \frac{1}{6} \cdot \alpha - \frac{1}{30} \cdot \alpha^3 \right) & \text{za } \alpha \leq 1 \\ \frac{H}{v_y} \cdot \left(\frac{1}{3} + \frac{1}{6} \cdot \alpha^{-1} - \frac{1}{30} \cdot \alpha^{-3} \right) & \text{za } \alpha > 1 \end{cases} \quad (13.32)$$

У граничним случајевима за $\alpha \rightarrow 0$ и $\alpha \rightarrow \infty$ интеграл има следеће вредности:

$$\lim_{\alpha \rightarrow 0} I_2 = \frac{1}{3} \frac{L}{v_x} \quad \text{и} \quad \lim_{\alpha \rightarrow \infty} I_2 = \frac{1}{3} \frac{H}{v_y} \quad (13.33)$$

У оба случаја се добијају одговарајући резултати за прорачун средњих времена за једнодимензионално кретање (13.7). Код дводимензионалног кретања разликују се времена убрзавања и кочења у различитим правцима кретања, односно v_x/a_x је различито од v_y/a_y . Резултат интеграла B_1 је:

$$B_1 = \begin{cases} \left(1 - \frac{\alpha}{2}\right) \cdot \frac{v_x}{a_x} + \frac{\alpha}{2} \cdot \frac{v_y}{a_y} & \text{za } \alpha \leq 1 \\ \frac{1}{2\alpha} \cdot \frac{v_x}{a_x} + \left(1 - \frac{1}{2\alpha}\right) \cdot \frac{v_y}{a_y} & \text{za } \alpha > 1 \end{cases} \quad (13.34)$$

Резултат за B_2 је са довољном тачношћу приближно исти, односно:

$$B_1 \approx B_2 \quad (13.35)$$

Овај резултат је изузетно значајан за прорачун капацитета регалних дизалица и осталих транспортних уређаја који опслужују регале. Када складишни уређаји раде у сложенем, односно двоструком циклусу, узима се да је $n = 2$. У граничном случају код дугачких и веома ниских регала, решење за дводимензионално кретање прелази у одговарајуће решења за једнодимензионално кретање.

Користећи решења (13.32), (13.33), (13.35) и (13.38), добија се из (13.34) просечно време за дводимензионално кретање **без стратегије**, код узимања n позиција једне наруџбине /Gudehus 1973/:

$$\overline{t_n} = (n+1) \cdot B_1 + 2 \cdot I_1 + (n-1) \cdot I_2 \quad (13.36)$$

Дељењем овог израза са n , добија се *средње време кретања по једној позицији*:

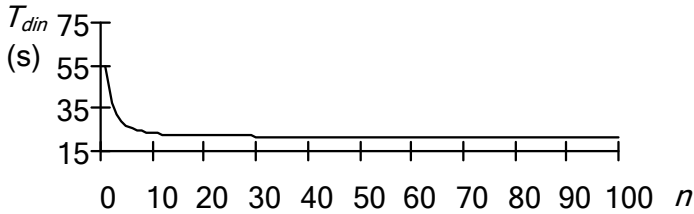
$$\overline{t_{din}} = \frac{(n+1)}{n} \cdot B_1 + \frac{2}{n} \cdot I_1 + \frac{(n-1)}{n} \cdot I_2 \quad (13.37)$$

У граничном случају када имамо веома дугачке и ниске регале може се узети, уместо дводимензионалног решења (13.37), одговарајуће једнодимензионално решење (13.10). Просечно време за дводимензионално кретање код комисионирања **без стратегије** за случај када је $\alpha = H/L \times v_x/v_y = 1$, износи:

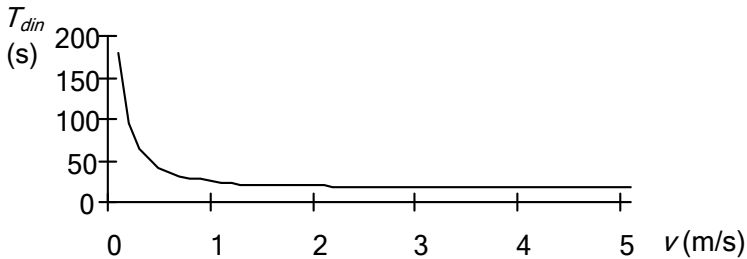
$$\overline{t_{din}} = \frac{n+1}{2n} \left(\frac{v_x}{a_x} + \frac{v_y}{a_y} \right) + \frac{4}{3n} \cdot \frac{L}{v_x} + \frac{n-1}{n} \cdot \frac{14}{30} \cdot \frac{L}{v_x} \quad (13.38)$$

У даљем тексту су дати дијаграми за случајеве дводимензионалног кретања код узимања робе ("човек роби") **без стратегије**, према програму "КОМИ" /Лаврош 1996/, Утицај броја локација на време комисионирања је дат на слици 13-59. Утицај просечне брзине хоризонталног кретања на T_{din} је приказан на

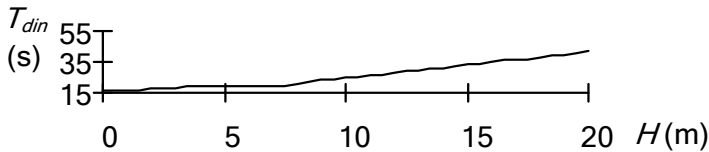
слици 13-60. На слици 13-61 је приказан утицај висине регала на динамичко време комисионирања.



Слика 13-59. Утицај броја локација на време комисионирања.



Слика 13-60. Утицај просечне брзине хоризонталног кретања на T_{din}



Слика 13-61. Утицај висине регала на динамичко време комисионирања.

Код *дводимензионалног комисионирања са једноставном стратегијом* (13-21) при прорачуну средњих вредности потребно је обратити пажњу на редослед тачака P_i , $i = 1, \dots, n$. У зависности од овог редоследа одређују се и границе интеграције - аналогно као у случају једнодимензионалног кретања /Gudehus 1973/.

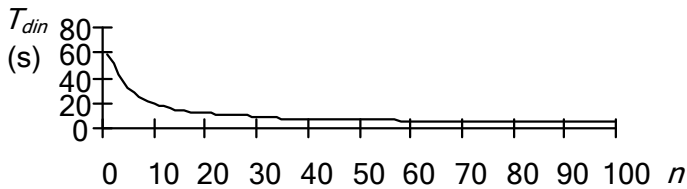
У граничном случају великог броја позиција по једном циклусу комисионирања, који се постиже са тачношћу већом од 10 % за $n > 10/\alpha$, *дводимензионални систем за комисионирање са стратегијом* (13-21) *се понаша као једнодимензионални систем комисионирања дужине H без стратегије*. Овакво понашање се објашњава чињеницом да су за велико n доминантна вертикална кретања која нису уређена по растућем низу.

Средња времена кочења односно убрзања зависе само од односа v_x/a_x и v_y/a_y као и параметар α . При томе сви системи за комисионирање са истим

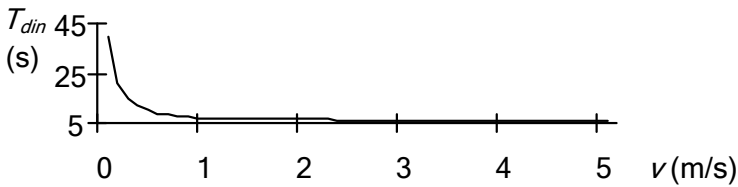
$$\frac{L}{v_x}, \frac{H}{v_y}, \frac{v_x}{a_x}, \frac{v_y}{a_y} \quad (13.39)$$

имају за свако n исто средње време кретања.

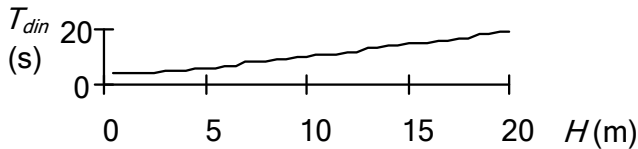
У даљем тексту су дати дијаграми за случајеве дводимензионалног кретања код узимања робе ("човек роби") **са стратегијом**. Утицај броја локација на време комисионирања је дат на слици 13-62. Утицај просечне брзине хоризонталног кретања на T_{din} приказан је на слици 13-63. На слици 13-64 дат је утицај висине регала на динамичко време комисионирања.



Слика 13-62. Утицај броја локација на време комисионирања



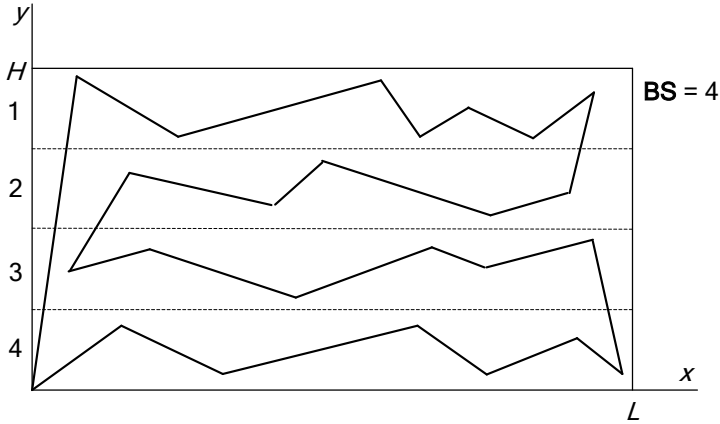
Слика 13-63. Утицај просечне брзине хоризонталног кретања на T_{din}



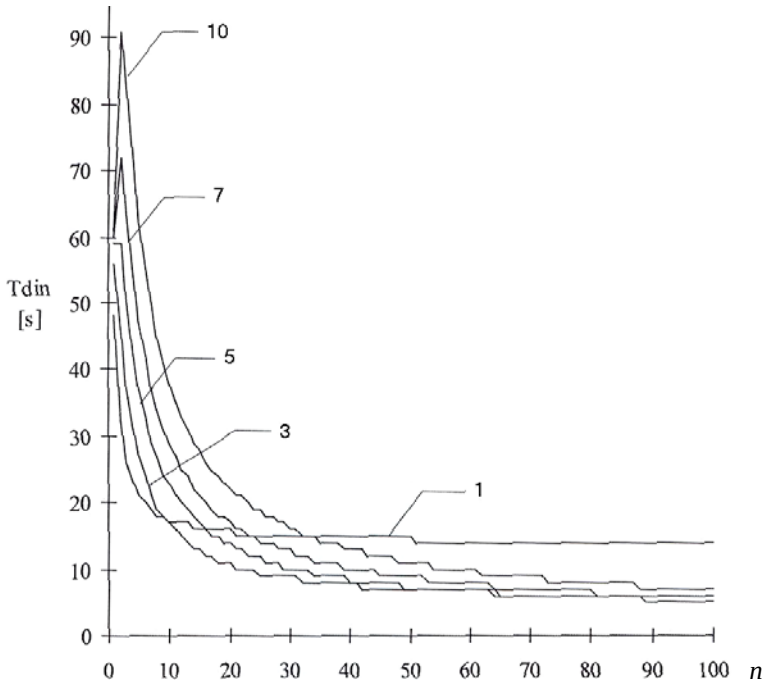
Слика 13-64. Утицај висине регала на динамичко време комисионирања.

Дводимензионално *комисионирање са стратегијом* је слично дводимензионалном кретању без стратегије, само што је површина регала по висини подељена на "стазе" дуж којих се обавља хоризонтално кретање при комисионирању. Број стаза (**BS**), зависи од димензија регала. На слици 13-65. је дат пример дводимензионалног комисионирања са стратегијом у случају када је површина регала ($L \times H$) подељена на 4 стазе. Слика 13-66 приказује утицај броја локација на T_{din} , код дводимензионалног кретања **са стратегијом**, за одређени број стаза (1, 3, 5, 7, 10).

Динамичко време комисионирања робе се састоји од три времена. Прво време представља средње време вожње, убрзања и кочења од уласка до прве најближе локације у највишој стази. Друго време представља средње време вожње, убрзања и кочења између локација у свим стазама. Треће време представља време вожње, убрзања и кочења од последње локације до излаза у најнижој стази.



Слика 13-65. Дводимензионално комисионирање са стратегијом (H - висина регала, L - дужина регала, BS - број стаза)



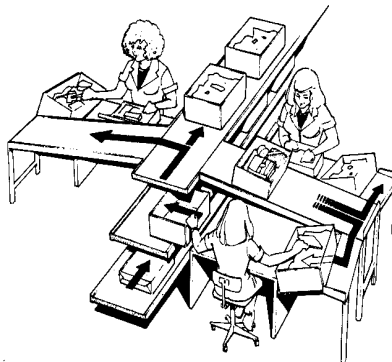
Слика 13-66. Утицај броја локација на T_{din} , код дводимензионалног кретања са стратегијом, за одређени број стаза (1, 3, 5, 7, 10).

13.6. Паковање

Паковање је финална функција при комисионирању робе у складишно дистрибутивним центрима. Обавља се претежно ручно, осим у случајевима аутоматског комисионирања, када се роба ставља директно у кутије за отпрему (козметички препарати, фармaceutски производи, електронске компоненте и сл.). У одељењу за паковање преузета роба се скупља према одређеним критеријумима, проверава се да ли је комплетна, пакује за транспорт и на крају транспортује до одељења за отпрему. У великим складишним системима наруџбине клијената се састоје од под количина које долазе из различитих складишних површина. Пошто је немогуће брзо прикупити те количине за отпрему, артикли се скупљају прво у транспортним јединицама за отпрему. Овај процес често захтева међускладишта, код динамичних процеса, за отпрему великих количина.

На радном месту за паковање појављују се четири различита тока материјала које треба повезати (слика 13-67):

- Ток транспортних јединица са прикупљеном робом.
- Ток материјала за паковање (картонске кутије, судови, материјал за заштиту).
- Ток запаковане робе.
- Ток испразњених транспортних судова.



Слика 13-67. Радно место за паковање

У циљу минимизирања трошкова отпреме, пошиљке треба оптимизирати. Компаније се често ослањају на њихове искусне раднике да нађу праву јединицу за паковање (димензије кутија), за сваку количину коју треба спаковати. У пракси, међутим, често се дешава да робу треба препаковати, што је веома неефикасна процедура. Тако да је функција паковања интегрисана у менаџмент складишта, који на бази прорачуна запремине и облика робе, коришћењем софтвера, даје најповољније решење.

Овај корак се завршава инспекцијом робе која се отпрема, провером да ли је наруџбина комплетна и да ли квалитет транспортне јединице испуњава услове. Овај процес се може олакшати провером робе помоћу снимљене масе наруџбине, као суме масе артикала. Ово захтева тачне податке о артиклима, њиховој маси и димензијама. На крају, статус наруџбине се апдејтује комплетирањем података транспорта и отпреме.

После прикупљања и комплетирања, наруџбине се пакују уколико је потребно да се обезбеди заштита за време отпреме. У подручју паковања обухваћене су све делатности које служе да се сортиране поруџбине саставе заједно у јединице способне за отпрему. При томе се под отпремом подразумева транспорт на друго место унутар фабрике или утовар у средство спољног транспорта. Позиције треба груписати и припремити за отпрему пре извођења овог процеса.

После паковања роба напушта систем за комисионирање. У циљу скраћења времена потребног за извршење једне наруџбине, поједине функције се елиминишу или се обављају истовремено, комбиновано са другим (нпр. сортирање и паковање са кретањем). Паковање представља посебан технолошки процес, па се неће детаљно разматрати у оквиру ове књиге.

13.7. Утовар и отпрема

Подручје овог система испуњава задатак припреме и одношења робе поручиоцу и представља везу између складишта и потрошача. Ово подручје обухвата следеће делатности:

- преузимање робе из одељења за паковање,
- контролу паковања и адресирања,
- улогу међускладишта до одношења робе и
- утовар у средства спољног транспорта.

Задатак одељења за отпрему је да прикупи јединице према наруџбинама и да робу утовари у средства спољног транспортна. Поред физичких процеса у овој зони, ове активности укључују и низ организационих и управљачких функција, одређивање оптималних метода за отпрему и избор транспортних средстава. Овај процес није лак због различитих цена транспортера и пружаоца услуга (курирска служба, експрес и пакетне услуге). Избор оптималне услуге отпреме захтева тачну студију количина које се отпремају (запремине и масе), дестинације за транспорт и фреквенције. Базирано на овим подацима оптимални провајдер услуга превоза тражи се за сваку поједину наруџбину. У исто време треба узети у обзир, планиране испоруке по приоритету, доступност

13. Складишта

наручене робе, договорене фреквенције испорука итд. Ови захтеви зависе од типа складишта и морају се узети у обзир у стратегији планирања.

Док се процес складиштења и комисионирања углавном одвија континуално, утовар у транспортна средства често захтева релативно кратак термин, због скупљања робе у чвориштима. То доводи до питања: која вршна оптерећења треба да се предвиде у зони отпреме? У ту сврху јединице за отпрему треба прво да се прикупе и припреме за утовар. Палетизоване или друге велике јединице се припремају за утовар и постављају поред врата за отпрему. У пракси, ограничен простор код капија за отпрему води до уских грла, тако да организација зоне отпреме треба да се стално оптимизира. На крају, документ за транспорт и отпрему, треба да буде припремљен. Скенирање јединице за утовар представља крај наруџбине и повратна информација се шаље управи складишта.

У овом подручју је непожељно дуже задржавање робе, тако да дугачко временско премошћавање треба очекивати само у изузетним случајевима (упакована роба чека на средства спољног транспорта). Овде је функција сортирања релативно безначајна, роба се сређује према начину и времену испоруке.

13.8. Систем за управљање и контролу рада складишта

Овај систем представља интегрално спајање органа управљања и контроле. Према дефиницији /Miebach 1971/ ово подручје има задатак: *"надлежности и регулисања радних токова"*, тако да се остала подручја интегришу у целокупни систем складишта. Због овакве софтверске структуре ову организацију није могуће представити у дијаграму тока материјала. Неопходне информације у раду складишта се односе на врсту робе која се захтева, количину, адресу локације где се роба налази, којем кориснику је намењена и слично. Ако се изузме аутоматско захватање, информације се увек оптички приказују. Носилац информације може бити листа за комисионирање, екран терминала рачунара, или сигнална светла и светлећи бројеви на месту издвајања. Употреба рачунара значајно унапређује ток информација и комисионирање у целини. Неке могућности примене су:

- offline листе;
- online адресе са интерактивном комуникацијом;
- online приказ на месту захватања.

У првом случају се добијени захтеви - наруџбине, предходно обрађују и уређују на основу датог критеријума (најкраће време комисионирања, спајање

по правцима отпреме, приоритет, итд.). Радници комисионирају робу на основу штампаних листи. Листе садрже информације о врсти и количини робе, као и адресе локација на којима се роба налази. Поред тога могу да садрже и друге пратеће информације, као што је прописано време за обављање наруџбине и слично. У другом и трећем случају, радник комуницира са рачунаром преко екрана или дисплеја и тастатуре. Рачунар шаље информацију о роби која се комисионира, а радник повратну информацију о обављеном послу. После сваког обављеног посла, рачунар шаље нову информацију раднику.

У случају комисионирања по принципу "човек роби", да би се радник ослободио додатних активности, информациони систем у складишту обезбеђује вођење радника до локације. У ту сврху се користе аутоматски вођена возила за комисионирање или регалне дизалице. Посебан вид аутоматског вођења је тзв. "комисионирање на светло", када радник хода и прати сигнално светло на локацијама са којих треба да издвоји робу. Поред сигналног светла, преко дисплеја добија информацију о захтеваној количини.

13.9. Планирање тока материјала

Полазећи од дефиниције да *складишни систем може да се карактерише као транспортни систем*, код разматрања појединих подручја, односно подсистема, транспортна средства и њихово управљање треба да стоје у првом плану. Највећи део активности на складишту обухвата руковање материјалом, тако да треба обезбедити ефикасно кретање материјала и да све ручне и механизоване операције буду сигурне и економичне.

Сваки од подсистема једног складишта, који су према ранијој дефиницији формиран у оквиру појединих подручја, има транспортни систем који се оптимизира у оквиру датог подсистема (нпр. процес истовара) и треба да је компатибилан са осталим транспортним подсистемима, тако да се добије оптимално решење целог транспортног система складишта.

У појединим случајевима, када се преклапају поједине активности, транспортни систем може да се решава интегрално за више подручја (подсистема); нпр. код транспорта робе од пријема до главног складишта. Ова операција обично обухвата кретање до површине главног складишта, али не и до складишне локације. У неком случајевима, транспорт и постављање у складишну локацију се изводе у једном кретању (код мањих складишта виљушкарном). У пракси се срећу и варијанте система који није дељив просторно већ само временски. Једно транспортно средство испуњава две функције и активно је у два подручја система, нпр. у случају када се доњи део регала главног складишта користи као складиште за припрему наруџбина (слика 13-23).

13. Складишта

Примарна сврха транспортног система складишта је да смањи трошкове пословања кроз ефикасније коришћење рада. Избор система је компликован процес, не само због примене различите опреме, већ услед сталних промена захтева у односу на систем.

Селекција почиње разматрањем система као целине и анализом захтева који се постављају транспортном систему. Код анализе система и при избору транспортних средстава треба узети у обзир следеће:

- Карактеристике производа - димензије, маса, конфигурација, посебни услови.
- Ефикасност рада транспортног система се побољшава укрупњавањем терета (захтева се мањи број циклуса). Ово се постиже палетизацијом. Палете омогућују примену стандардне опреме за манипулацију различитом робом и повећање искоришћења складишног простора.
- Природа и интензитет оптерећења (обрт, динамика довоза/одвоза) утичу на селекцију опреме. Различите манипулативне карактеристике робе захтевају флексибилнији систем.
- Могућност рада у више подручја система.
- Ограничења која намеће постојећи простор за избор опреме.
- Поузданост система. Високо механизовани и аутоматски системи су осетљиви на отказ ма кога индивидуалног сегмента (тотални прекид рада).
- Ограничења која намеће спољни транспорт.

13.10. Обликовање простора складишта готових производа

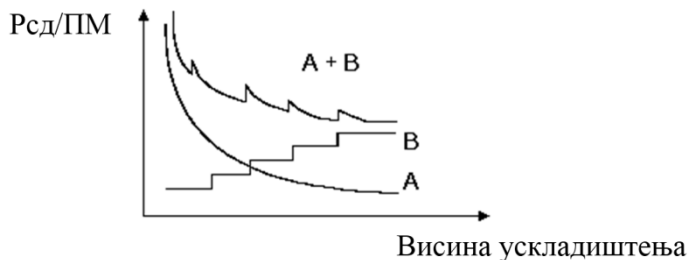
Layout складишног простора директно утиче на укупне транспортне трошкове робе која се креће кроз складиште. При томе је потребно успоставити равнотежу транспортних трошкова и искоришћења складишног простора. Висина ускладиштења зависи углавном од карактеристика робе која се складишти и усвојене опреме. Облик складишне зграде зависи од трошкова транспорта и конструкције самог објекта.

На формирање складишног простора утичу следећи параметри:

- Карактеристике производа - димензије, маса, конфигурација, посебни услови.
- Облик и тип транспортне (складишне) јединице.
- Максимално стање залиха; политика залиха.
- Асортиман залиха, број артикала.

- Обрт, динамика довоза/одвоза.
- Тип складишта. регали, полице итд.
- Опрема за транспорт, манипулацију и ускладиштење.
- Карактеристике зграде: облик, стубови, оптерећење пода, локација ходника.
- Висина ускладиштења.
- Специфични захтеви за ускладиштењем.
- Локација складишта у односу на друге активности.

Са економског аспекта важан је однос између цене коштања простора, опреме и ускладиштења у висину. При анализи поменутих односа, због великог броја променљивих, тешко је дати општи образац који може да обухвати све услове. Међутим, није тешко анализирати све трошкове и презентирати информације на такав начин, да може да се нађе оптимална висина ускладиштења за поједине услове. На слици 13-68 приказан је дијаграм цене коштања простора (А) и опреме (В) у зависности од висине ускладиштења, тако да се из збирне криве налазе инвестициони трошкови. У случајевима када је простор екстремно скуп или опрема релативно јефтина, трошкови простора су одлучујући фактор и робу треба складиштити на највећој могућој висини.



Слика 13-68. Цена коштања по палетном месту (ПМ)

13.11. Одређивање складишног простора

У општем случају површина складишта се одређује по обрасцу:

$$A_u = A_k + A_m + A_p,$$

где је:

A_k - корисна површина - површина на којој се чува материјал,
 A_m - манипулативна површина - обухвата главне транспортне путеве, пролазе између регала, простор за манипулацију робом, итд.
 A_p - помоћна површина - обухвата површину стубова, сигурносне пролазе (растојање између ускладиштене робе и зидова - min. 0,8 m), пролазе за евакуацију у случају пожара, простор око хидраната и против пожарних апарата, канцеларије и санитарне просторије.

13. Складишта

Корисна површина (A_k) код блок складишта се израчунава према обрасцу:

$$A_k = 1,2 \frac{N_{TJ} \cdot A_{TJ}}{n_y}$$

где је:

N_{TJ} - укупни број складишних јединица,
 A_{TJ} - површина складишне јединице у m^2 , и
 n_y - број редова складишних јединица по висини.

Корисну површину складишта потребно је проверити у односу на носивост пода.

$$A_k > \frac{N_{TJ} \cdot G_{TJ}}{p}$$

где је:

G_{TJ} - тежина транспортне јединице са теретом (kN), и
 p - носивост пода складишта, $p = 10 - 60 \text{ kN/m}^2$

Корисна површина регалног складишта (површина под регалима) износи:

$$A_k = A_{pm} \cdot n_x \cdot N_R,$$

где је:

A_{pm} - површина једног палетног места у m^2 ,
 n_x - број палетних места дуж једног регала, и
 N_R - број регала на складишту.

При томе треба да буде задовољен услов:

$$N_{TJ} = n_x \cdot n_y \cdot N_R = N_{PM}$$

где је N_{PM} број палетних места.

Површина једног палетног места (A_{pm}) зависи од усвојене складишне (транспортне) јединице. Тако за стандардну палету $800 \times 1.200 \text{ mm}$, може да се узме да је приближно $A_{PM} = 1.000 \times 1.400 \text{ mm}$. При томе, треба напоменути да се постиже боље искоришћење складишне површине када се палета поставља тако да је дужа страна управна на ходник регала.

Висина ускладиштења зависи од висине палетног места (h_{PM}) и броја редова складишних јединица по висини (n_y):

$$H_S = h_{PM} \cdot n_y,$$

при томе треба да буде задовољен услов да је:

$$h_{PM}(n_y - 1) + 300 \text{ mm} < H_{TU},$$

где је:

H_{TU} - висина дохвата уређаја за ускладиштење, зависи од техничких могућности усвојеног уређаја.

Однос висине ускладиштења (H_S) према дужини складишног ходника (L_S) одређује се тако да се постигне минимално време опслуживања, односно минимални транспортни учинак. Код високорегалних складишта овај однос обично износи:

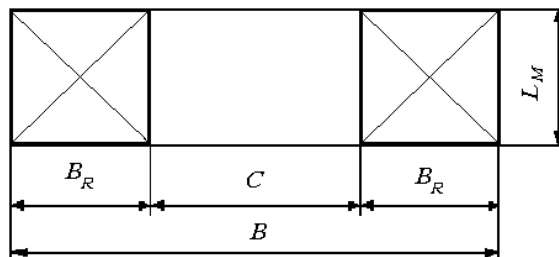
$$H_S/L_S = 1/5 - 1/4$$

Манипулативна површина (A_m) зависи од ширине ходника за опслуживање регала, главних транспортних путева и њихових дужина, као и од простора за манипулацију робом (уколико се предвиђа). Ширина регалних ходника и главних саобраћајница зависи од усвојених уређаја за опслуживање и интензитета саобраћаја.

Помоћна површина (A_p) одређује се зависно од типа и облика зграде, усвојене опреме и прописа о безбедности и здрављу на раду.

13.11.1. Одређивање димензија регалног складишта

Основна јединица за израчунавање димензија регалног складишта је модул, који се састоји се од два регала ширине B_R и ходника између њих ширине C (слика 13-69).



Слика 13-69. Основни модул

Ширина модула је једнака:

$$B = 2 \cdot B_R + C$$

Ширина регала зависи од усвојене складишне јединице (**ТЈ**), која је дефинисана димензијама и масом терета. Карактеристике складишне јединице

13. Складишта

дефинишу потребна одстојања између складишне јединице и конструкције регала, као и између самих складишних јединица. Према маси **ТЈ** се усвајају димензије носача. На основу модула B , броја модула n_m и растојања регала од зида b_z , ширина складишта B_s износи:

$$B_s = n_m \cdot B + 2 \cdot b_z \leq B_{\max}$$

Ширина складишта, мора да буде мања (или једнака) од максималне ширине $B_{\max}$ зграде. На основу броја модула n_m укупни број регала N_R је:

$$N_R = 2 \cdot n_m$$

Дужина складишта се одређује према броју складишних јединица у једном нивоу. Број нивоа зависи од дозвољене носивости пода и максималне висине дизања усвојеног транспортног уређаја. Број складишних јединица у једном нивоу N_1 се израчунава на основу капацитета складишта N_{TJ} и усвојеног броја нивоа n_y :

$$N_1 = \frac{N_{TJ}}{n_y}$$

На основу предходно одређеног броја транспортних јединица у једном нивоу N_1 и броја регала N_R , број локација у регалу на једном нивоу је:

$$n_x = \frac{N_1}{N_R}$$

Добијена вредност се заокружује на први већи цео број. Дужина регала је једнака:

$$L_R = n_x \cdot L_{PM},$$

при чему је L_{PM} ширина једног палетног места. Дужина складишта је једнака:

$$L_S = L_R + 2 \cdot b_z + \Sigma C_h,$$

где је ΣC_h збир ширина свих ходника управних на регале. Површина складишта је:

$$A_s = B_s \cdot L_S$$

Кровна конструкција складишта се ослања на стубове који се лоцирају у регалу, тако да заузимају одређени број локација (стуб заузима једну колону места у регалу), о чему треба водити рачуна при одређивању потребног броја локација. Број изгубљених локација зависи од усвојеног распона стубова.

13.12. Показатељи рада складишта

Основни показатељи квалитета решења једног складишта су следећи:

- искоришћење површине складишта; $\eta_A = A_k / A_u$,
- искоришћење запремине складишта, које представља однос укупне запремине робе на складишту (V_R) према запремини складишта ($V_S = A_k \cdot H$; где је H - чиста висина складишног простора); $\eta_v = V_R / V_S$,
- потребна површина за ускладиштење једне палете; $\eta_{AP} = A_u / N_{PM}$,
- потребна запремина за ускладиштење једне палете; $\eta_{vP} = V_S / N_{PM}$,
- укупна инвестициона улагања сведена на једно палетно место (**ПМ**), $I (RSD/N_{PM})$
- трошкови експлоатације по палети која прође годишње кроз складиште, $T_e (RSD/pal. god.)$.

Код оцене пројекта складишта (**AS/RS**) и усвојеног система управљања, могу да се користе наведени показатељи за приказивање њихових перформанси:

- просечно време кретања наручене робе по захтеву,
- број захтева који је обрађен у датом периоду времена,
- укупно време које је неопходно за обраду одређеног броја захтева,
- време чекања производа који треба да се ускладиште или искиладиште,
- број захтева који чекају да се роба ускладишти или преузме,
- време чекања дизалица у систему (**AS/RS**).

13.13. Аутоматска складишта

Модерно складишно окружење и дистрибуциони центри захтевају флексибилне системе који могу да се прилагоде брзо и прецизно условима тржишта, на постизању краћег водећег времена (lead time), односно времену од поруџбине до испоруке. Највећи број савремених складишта (streamlined warehouses), данас су аутоматизовани објекти, са великом брзином тока материјала, густином складиштења, ефикасним коришћењем простора, идентификацијом и праћењем позиција у реалном времену. Састоје се од модуларних подсистема који могу де се лако замене, да смање застоје и продуже век трајања целокупног система. Могу да се поделе на три основне групе:

- **Аутоматски складишни системи за складиштење палета - AS/RS** (Automatic Storage and Retrieval Systems), користе аутоматизоване системе са високорегалним дизалицама, који омогућавају да се палете

са залихама брзо крећу, сигурно и прецизно у оквиру система. Компанија Jungheinrich је направила компактно палетно складиште са шатл (Shuttle) системом, "Under Pallet Carrier", које користи **AGV** виљушкар уместо дизалица.

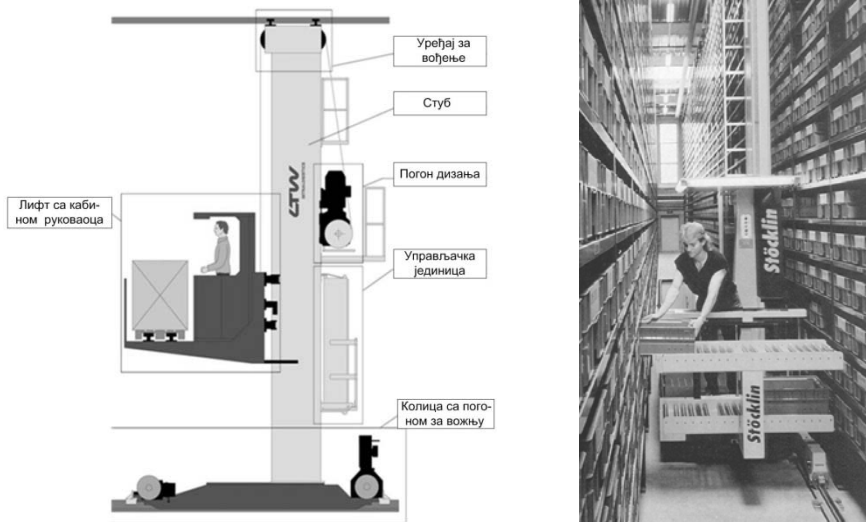
- **Mini load**, складишта сличних карактеристика као и претходна група која служе за чување и манипулацију мини контејнерима, касетама и подлошката. Често се користе за припрему залиха за дистрибуцију, комисионирање и складиштење делова и алата у погонима. Опслужују се регалним дизалицама висине 15 - 20 m. У савременим складиштима све је више присутна шатл технологија, са веома виским перформансама складиштења.
- **Каруселе**, хоризонталне и вертикалне као посебне јединице за складиштење ситних делова и обављање процеса комисионирања.

13.14. Аутоматска складишта (AS/RS) и Under Pallet Carrier

Аутоматска складишта (**AS/RS**) су компјутерски контролисани системи за аутоматско одлагање чување и преузимање транспортних јединица до/од одређених локација за складиштење. Високорегалне дизалице - **ВРД*** (слике 13-70 и 13-71) омогућавају да се палете (**ТЈ**) са залихама транспортују брзо, сигурно и прецизно у високоскладишном окружењу. Имају велику поузданост и тачност који премашују могућности виљушкарa. Крећу се по шинама, што елиминише потребу за било каквим захтевима у погледу квалитета пода складишта. Пошто су дизалице стабилне на шинама, могу да имају већу носивост и висину ускладиштења у односу на виљушкарe. **AS/RS** дизалице имају веома ефикасно време циклуса, прорачун се изводи у оквиру система складишта. Транспортне операције у мануелним складиштима се изводе тако да се производ креће само у једном правцу, онда се уређај враћа празан. **ВРД** постављају **ТЈ** у регал, затим у повратку узимају другу **ТЈ** и износе из складишта, стално оптимизирајући кретање дизалице. То помаже да се смање оперативни и дистрибуциони трошкови у складишту, укључујући број људи потребних за рад у складишту, омогућавајући извођење двоструког циклуса на вишем нивоу ефикасности.

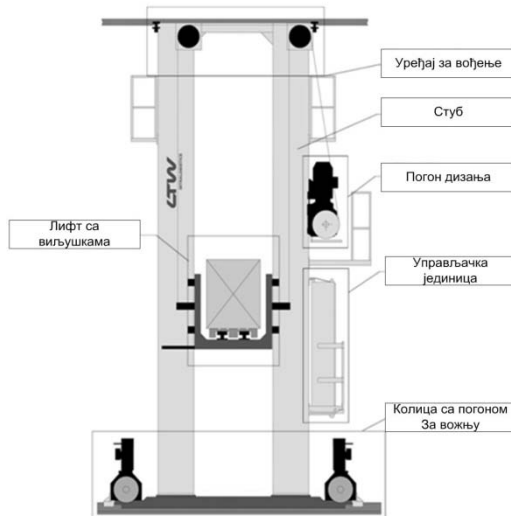
Најновије генерације дизалица имају јединствену флексибилност, једноструку, двоструку или троструку дубину постављања палете, користећи телескопске виљушке (слика 13-72), или до 20 палета по дубини помоћу шатл (Shuttle) технологије (слике 13-73 и 13-74), уз могућност руковања једним или више терета у исто време. Брзи програмабилни логички контролери (**Programmable Logic Controllers - PLC**), са интегрисаном архитектуром управљања, прате кретање дизалица. Управа складишта (**Warehouse Management System - WMS**), преко интерфејса (**Material Flow Control - MFC**)

контролише оптимално кретање материјала и система управљања (**Warehouse Control System - WCS**) води аутоматски процес. Високорегалне дизалице користе бар-код технологију да усмере њихово кретање и кретање палета.



Слика 13-70. Мануелна ВРД у систему AS/RS, десно дизалица за комисионирање

* Карактеристике дизалице са мануелним (полуаутоматским) управљањем у систему AS/RS (слика 13-70): Брзина: вожње до 200 m/min, дизања до 60 m/min. Убрзање: код вожње до $0,50 \text{ m/s}^2$, дизања до $0,50 \text{ m/s}^2$. Висина дизања до 35 m, доњи положај виљушки min. 500 mm; Користан терет до 2,5 t, висина терета до 1.250 mm. Радна температура -30 до +60 °C. Дизалица за комисионирање (Mini load складиште): носивост 500 kg, радна висина 12 m, ширина ходника 1,2 m.



Слика 13-71. Аутоматска ВРД у систему AS/RS

* Карактеристике дизалице са аутоматским (полуаутоматским) управљањем у систему AS/RS (слика 13-71): Брзина: вожње до 300 m/min, дизања до 100 m/min. Убрзање: код вожње до $1,20 \text{ m/s}^2$, дизања до $1,00 \text{ m/s}^2$, Висина дизања до 45 m, Користан терет до 7,0 t, Радна температура -30 до +60 °C.

Високорегалне дизалице су способне само за кретање у правој линији, у једном ходнику. Пошто дизалице обухватају велики део инвестиционих трошкова високих складишта, смањењем њиховог броја се реализују значајне уштеде. Потребан број дизалица треба одредити према захтеваном протоку палета, а не према броју ходника, што утиче на смањење инвестиција. Ово се постиже уградњом преноснице (слика 13-17), што захтева знатна улагања. Постављањем специјалне скретнице (нпр. **LTW** Intralogistic) омогућује се прелаз у други ходник. Дизалица ротира на крају пролаза на заобљеној стази, без напуштања шине (слике 13-75 и 13-76). То омогућује брз и једноставан прелазак између ходника, знатно јефтиније решење од преноснице и избегнути су проблеми који су пратили ранији трансфер. Ово је посебно значајно, јер у случају квара, дизалицу оператер лако помера са линије на површину за одржавање, где се обавља сервис. Пошто се ходник ослобађа, остале дизалице могу да заврше захтеване задатаке у том ходнику. На овај начин свака палета постаје 100 % доступна, без обзира на могуће кварове. Ово је веома важно за одржавање високог нивоа испоруке.

AS/RS складишта се користе у производним погонима, дистрибутивним центрима и разним складиштирама широм света. Генерално, састоје се од дизалица, са пратећом структуром транспортера и служе за чување и преузимање производа и робе за дистрибуцију на интерним и екстерним дестинацијама. Омогућују повећану контролу и управљање залихама (велике уштеде у трошковима залиха), уз велику флексибилност да се прилагоде променљивим условима тржишта. Састоје се од модуларних подсистема који се могу заменити уз минималне застоје и продужити век трајања целокупног система. Такође, смањују трошкове рада, обезбеђују повећану безбедност и здравље на раду, посебно код тешких услове рада (хладно окружења код чувања хране). **AS/RS** системи имају и велику искоришћеност складишног простора, што омогућава већу густину складиштења.

AS/RS системи захтевају значајне инвестиције за инсталирање и сталну финансијску обавезу за одржавање. Одржавање овако високо интегрисаних система захтева обуку и искуство. Поступак набавке оваквог ефикасног система обухвата све од претходне анализе ланца снабдевања и управљања до налажења одговарајуће цене опреме и софтвера. Треба напоменути, да компаније често наилазе на велике текуће трошкове за одржавање и ажурирање различитих подсистема. Ови системи захтевају висок ниво одржавања и решавање проблема мреже механичких, електричних и софтверских проблема. Када се такви поремећаји јављају, утицај постаје разоран за мала и средња предузећа. Трошкови прекида у раду стварају губитке мерљиве (приход од производње и отпреме, повећани трошкови рада за поправке) до нематеријалних (смањење поверења у пословање фирме и поверење клијената). Као резултат тога, предузећа су дужна да испитају дугорочне последице свог избора за уградњу аутоматизованог система за складиштење.

Ефикасан **AS/RS** систем обезбеђује предности за управљање ланцем снабдевања:

- Ефикасан систем **AS/RS** остварује ниже трошкове смањењем количине непотребних делова и производа у складишту и побољшава организацију складишта.
- Обезбеђује могућност прилагођавања на променљиве тржишне услове.
- Аутоматизовани процеси, омогућавају више простора због велике густине складиштења.
- Аутоматизација смањује трошкове радне снаге уз повећање безбедности и здравља на раду.
- Моделирањем и управљањем одређивања локација, нпр. ако се одређени производи често продају заједно, могу бити груписани или постављени у близину области доставе да се убрза процес комисионирања, паковања и отпреме купцима.
- Омогућава везу обраде наруџбина и управљања логистиком у циљу ефикасног комисионирања, паковања, и отпреме производа из објекта.
- Праћење локација ускладиштених производа, њихових добављача, и периода времена чувања. Анализирајући те податке, компаније могу да управљају нивоом залиха и омогуће боље искоришћење складишног простора. Систем даје податке неопходне за моделирање.
- Користи максимално расположиви простор за складиштење у постојећим објектима.
- Трошкови енергије су мањи за 40 % у хладнијим срединама.
- Обезбеђује тачност вођења залиха и опслуживање клијената.

Хауард Цолингер /Zollinger 2001/ наводи услове за успешно пословање **AS/RS** система.

- Рад у две или три смене.
- Критични ниво залиха, строго праћење залиха.
- Флексибилна производња, користе се делови високе вредности или склопови.
- Заједничко складиштење делова и прибора.
- Скупо земљиште, не постоје ограничења висине зграде.
- Запослени искусни квалификовани техничари, или доступни по потреби.

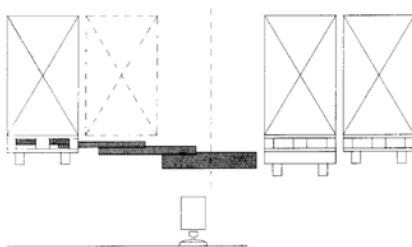
Превозници палета који могу самостално да путују у каналима регала су основа Jungheinrich шатл складишних система. **Under Pallet Carrier - UPC**, користи се у компактним складишним системима (Drive in). Примењује се у складишним системима са дугачким каналима који треба да се стално пуне и празне. Посебно су ефикасни када треба да пуне целе канале. Шатл, са палетом,

13. Складишта

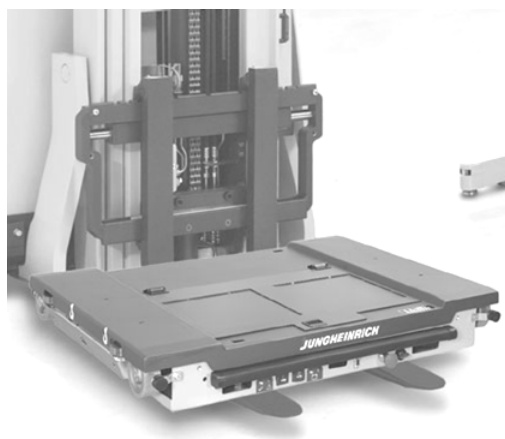
преноси аутоматски вођени виљушкар - **AGV** (слика 13-73) и одлаже у регал одакле наставља да путује аутономно (слика 13-74). Након, што се прва палета депонује у регал, систем управљања аутоматски обавља све потребне покрете кретања и подизања. Сензори препознају положај ускладиштених палета, избегавајући сударе код слагања и преузимања нових палета. Ови системи омогућују руковање различитим палетама (еуро и индустријским, попречно/уздужно), посебно су погодни за употребу и у хладним складиштима на температурама до -30 °C.

Основне карактеристике Jungheinrich **UPC**:

- Изузетно ефикасно складиштење. Оптимална искоришћеност складишног простора.
- Дугачак век трајања, сигурност и поузданост. Ниски трошкови одржавања и поправки.
- Добар енергетски биланс.
- Предвиђен за употребу у хладњачама и међускладиштима.



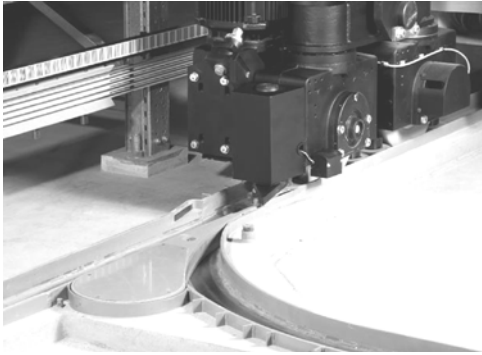
Слика 13-72. Телескопске виљушке за две палете



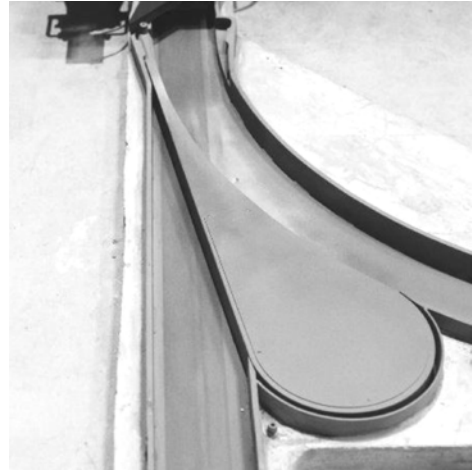
Слика 13-73. **AGV** виљушкар носи шатл



Слика 13-74. Складиште Jungheinrich са "шатл" технологијом



Слика 13-75. Скретница високорегалне дизалице



Слика 13-76. Скретница **LTW** детаљ

13.15. Mini load складишта

Другу групу обухватају складишта (Mini load) за чување мањих делова и могу да се поделе на две подгрупе: класична (Mini load) и складишта са шатл (Shuttle) возилима. Аутоматско Mini load складиште састоји се од централног ходника, кроз који се креће регална дизалица (висине до 20 m) и минимално два регала (слика 13-77 и слика 13-78). Користе се за чување мини контејнера, касета или пакета. Захватање и манипулација теретом се обавља на конвејеру, који се налази на крају регала. Дизалица терет узет из регала, ставља на конвејер и одвози до оператера. Кад он заврши посао, транспортна јединица се враћа на дизалицу, која је враћа назад у регал. Овај тип складишта може бити изграђен са једноструком или двоструком дубином регала, што повећава капацитет складишта. Цео систем контролише софтвер за управљање који региструје локацију материјала у складишту и одржава залихе у реалном времену.

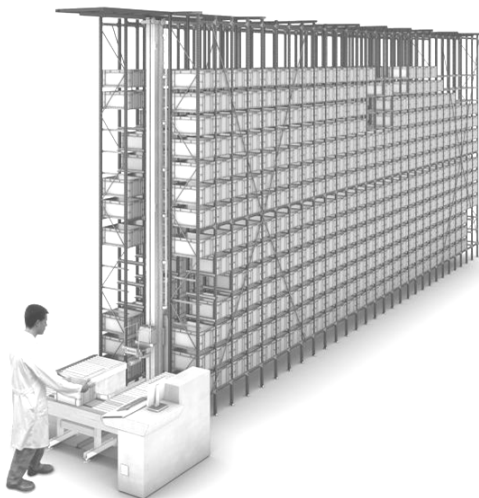
Предности ових ситема су:

- Висок ниво перформанси, век трајања, сигурност и поузданост.
- Аутоматска манипулација **TJ**. Уштеда складишног простора.
- Елиминисање грешака које настају код ручног управљања складиштем.
- Повећан капацитет оплуживања. Управљање и ажурирање залиха.
- Ниски трошкови одржавања и поправки. Брзи повратак инвестиција.
- Могућности руковања теретом од неколико грама до 300 килограма.
- Могућност уштеде и обнављања енергије.

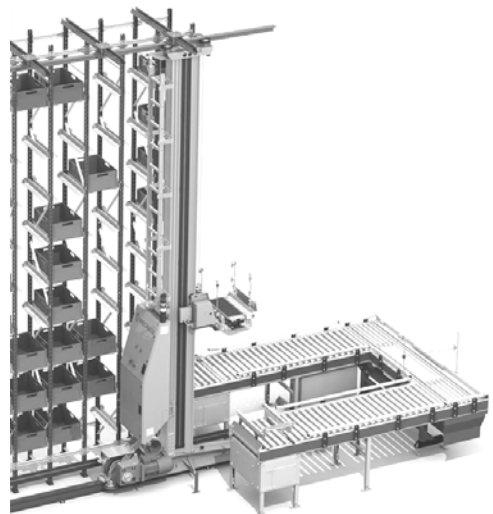
13. Складишта

Нову класу мини дизалица високих перформанси производи **Dematic**. Дата су нова решења за руковање контејнерима, касетама, подлошкама и кутијама. Лака алуминијумска конструкција, са једним или два стуба, висине до 20 m, обезбеђује меко убрзање и велику брзину кретања. Дизалица може да носи једну, две или три јединице са једно, дво или вишеструко дубоким конфигурацијама. Пројектоване су да раде са ефикасном расподелом енергије. Имају следеће карактеристике (зависно од висине): највећи терет 2 x 50 kg, брзина кретања 5 - 6 m/s, дизања 3 m/s, убрзање код кретања 3,3 - 5,2 m/s², дизања 3,9 m/s² (ниже вредности су за висину од 20 m), ширина ходника 1.060 mm. На слици 13-79 приказан је детаљ дизалице са носачем две касете.

Daifuku синхронизован систем **AS/RS** је развијен да има високу пропусну моћ. Две дизалице система имају три пута већи капацитет од **БПД** са двоструким виљушкама истог **AS/RS** система. Капацитет овог система складиштења износи 800 SJ/h у поређењу са 280 SJ/h код **БПД** са двоструким виљушкама у истом периоду. Брзина вожње износи 400 m/min, а брзина дизања 100 m/min. Претовар терета између дизалице и регала износи 1,5 секунду. Дизалице раде синхронизовано у једном ходнику, при томе свака од њих обавља посебан задатак. По потреби две дизалице могу да раде заједно и ефикасно да претоварују већи терет. Daifuku систем је комерцијализован у складу са захтевима тржишта и потребним спецификацијама купаца. Погодан је за отклањање уских грла код протока материјала за производњу. Примењује се када постоје загушења, налози постају све мањи и чешћи, циклуси захватања су дугачки и не постоји контрола материјала у реалном времену. Основне карактеристике система су: тих рад, променљиве стопе убрзања и ефикасно кретање различитих димензија предмета у току једног пролаза.



Слика 13-77. Mini load складиште DEMATIC



Слика 13-78. Mini load са приступним ролганзима

SSI **SCHAEFER** Miniload Crane (слика 13-80) покрива све области аутоматизације складишта за касете, кутије и подлошке и има висок квалитет и дуг век производа. Максимално користи висину ускладиштења уз истовремено мале димензије. Нуди широк спектар решења за повезивање аутоматске и ручне опреме складишта од пријема до отпреме робе. Софистицирана конструкција, квалитетног челика гарантује велику издржљивост уз ниску цену. Због дијагонално учвршћеног стуба, мање тежине, остварује већу динамику и пропусну моћ. Погон вожње је пројектован да остварује мало хабање. Управљање дизалицом је пројектовано да се може прилагодити потребама купца, на пример, кроз подешавања током убрзања и успоравања. Поред испуњавања стандардних захтева складишта, омогућава прилагођавање стратегији складиштења корисника и флексибилно прилагођавање измењеним логистичким параметрима и процесима.

Шатл (Shuttle) возила су постала саставни део многих решења данашњих Mini load складишта. Представљају савршено решење за веома динамичну примену као што су системи за снабдевање радних места са веома виским перформансама узимања на сат, међускладишта или испоруку робе по посебним захтевима. Ова решења могу се спроводити у широком спектру индустрија, допуну продавница малопродаје, у процесу комисионирања, код online продаје, што их чини идеалним за допуну капацитета **AS/RS** складишта. Коришћењем система са два лифта, шатл технологија може да обезбеди велику пропусну моћ (до 1.000 касета/х). Данас, шатлови су мањи, лакши и бржи, а далеко флексибилнији у руковању различитим теретима у поређењу са старијим моделима. Могу да рукују, кутијама, касетама и сличним носачима терета у једноструко или вишеструко дубоким регалима. Основна карактеристика свих шатл система је: прилагодљивост, расположивост и енергетска ефикасност. У даљем тексту приказаће се неколико различитих система.

TGW Logistics Group са новим **TGW STINGRAY** системом нуди широки опсег аутоматских Mini load решења. Представља идеалан систем за динамично складиштење и допуњује асортиман тржишта уређајем високих перформанси. Омогућава прецизно прилагођавање капацитета и перформанси код вршних оптерећења, високу расположивост, као и максималну енергетску ефикасност, пошто су мање покретне масе. **TGW** се издваја са високим перформансама и модуларним дизајном. У зависности од жељеног учинка, оператери могу да варирају број шатлова који се користи, као и да промене конфигурацију лифтова. Максимална конфигурација укључује шатл колица на сваком нивоу регала као и два лифта у сваком ходнику складишта, чиме се постиже максималну проток (до 1.000 касета/х). За ниже перформансе, шатл колица могу да промене ниво помоћу лифта, чиме се смањује број потребних колица а самим тим и трошкови инвестирања. На слици 13-81 приказана су **TGW** шатл колица како уносе пакет у регал.

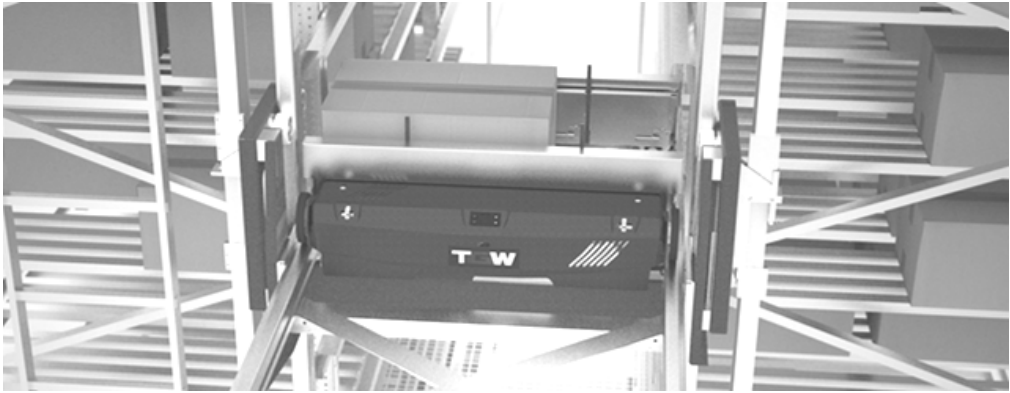


Слика 13-79. Носач касета на лифту аутоматске дизалице



Слика 13-80. SCHAEFER Miniload Crane

Murata Machinery производи Uni-SHUTTLE HP (слика 13-82), уређај високих перформанси аутоматизован са флексибилном функцијом за складиштење, високог капацитета транспорта и са могућношћу сортирања. Обрађује 3.000 захтева на сат континуалног ускладиштења и узимања. Шатл брзине 400 m/min независно ради на свим нивоима. Лака конструкција шатла обезбеђује уштеду енергије. Снабдевање неопходним количинама у право време (just in time), производње или приручних складишта продавница, минимизирају им складишни простор. Ова технологија пружа лако прилагодљиве опције за складиштење омогућујући ефикасно, прецизно, и ергономско комисионирање. Производи су доведени до оператора у исправном редоследу. Све већи број људи наручује, online тако да је потребно испоручити више хиљада налога, директно потрошачима.

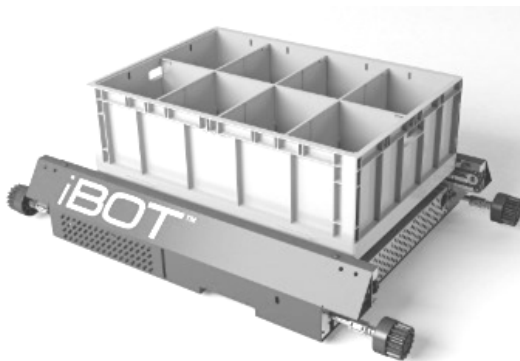
Слика 13-81. **TGW** шатл колица, уносе пакет (деталј)

Слика 13-82. Складиште Murata Machinery

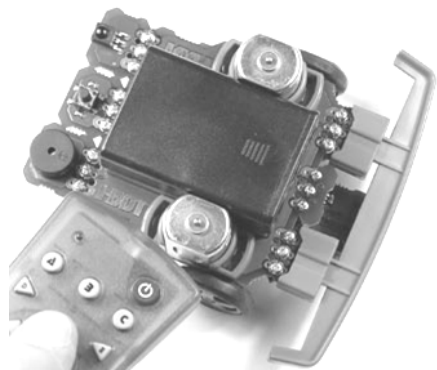
Opex Corporation је патентирала роботизовано Shuttle возило **iBOT** (слике 13-83 и 13-84), које се аутономно креће дуж стазе интегрисане у регале складишта (слика 13-85) и служи за транспорт робе до/од радних станица. **iBOT** је интелигентно, бежично управљано возило које ускладишти или узима мини контејнере из регала. Радне станице за комисионирање су ергономски пројектоване, интегрисане у систем, могу да се налазе на једном или оба краја. При томе, попуњавање залиха се обавља на једном крају, а комисионирање на

13. Складишта

другом, а могу се истовремено одвијати оба процеса, зависно од интензитета протока. Шатл довози контејнер директно до радника на комисионирању. После завршеног процеса захватања, следећи контејнер одмах долази на место истоара. Предвиђено решење нема лифтове, транспортере и трансфер уређаје, тако да представља веома ефикасан енергетски систем. Свако возило може да се креће хоризонтално и вертикално и има приступ до 100 % складишних локација. Мали контејнери, укупне носивости до 30 kg, у којима се чува роба, су димензија 500 x 750 mm и могу да се поделе у 8 ћелија. Возило покрећу суперкапацитори (кондензатори) - SC (ultracapacitor), који се допуњују у току вожње.



Слика 13-83. iBOT возило са контејнером



Слика 13-84. Детал iBOT возила

Систем ефикасно обавља комисионирање, не прекидајући операције које су у току. Процес је брз, ефикасан и тачан (Perfect Pick). Оператори прате текст и визуелна упутства на монитору који се налази на њиховом радном месту (слике 13-86 и 13-87). Поред тога, светлост одозго осветљава ћелију, из које предмет треба да буде преузет или стављен. После завршеног процеса софтвер ослобађа контејнер и следећа јединица одмах прелази на позицију за трансфер (слика 13-88). Овај систем је посебно погодан у предузећима која раде са online наруџбинама, када је потребно да се потрошачима испоручи до 1.000 налога на сат. Предвиђена је флексибилна опција раста система, зависно од обима послова. Могу да се додају нове радне станице, да подржавају повећани проток и нова iBOT возила за повећану стопу комисионирања и нове пословне циклусе.

Perfect Pick представља јединствено решење код примене поступка "роба човеку", које знатно побољшава брзину и ефикасност кретања робе кроз складиште или дистрибутивни центар. Веома је флексибилан и пројектован да поједностави комплексност других шатл технологија које нуди тржиште. Предвиђени софтвер прати положај свих iBOT возила и усмерава њихово кретање да обезбеде пуну оперативну ефикасност. Решен је проблем ходања запослених. Доводећи робу аутоматски на станицу за захватање знатно се повећава проток. На тај начин су побољшани услови рада запослених пошто

кретање радника често износи до 75 % од времена комисионирања. Постигнута је висока редунданца система, у случају квара **iBOT**-а, исти се може заменити за неколико минута не прекидајући рад система.



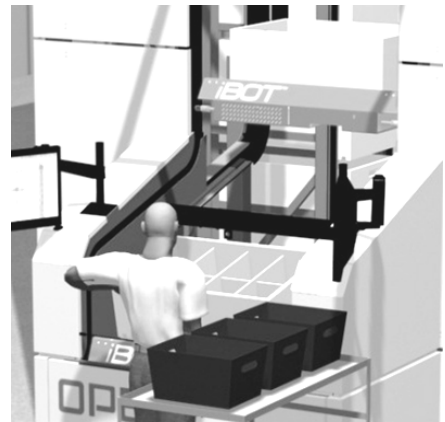
Слика 13-85. Деталј регала са возилом



Слика 13-86. Радно место оператора



Слика 13-87. Станица за комисионирање



Слика 13-88. Следећи контејнер чека на трансфер

AS/RS се састоје од механизованих система са компјутерски управљаним процесом уношења и преузимања терета са складишних локација и контролом залиха. Користе се код високог обима оптерећења (улаз/излаз); густина складиштења је битна пошто се не остварује додатна вредност у овом процесу. Тачност је критична због потенцијалних скувих оштећења терета и променљивих захтева тржишта. Састоје се од фиксних ходника и карактеристични су за веће системе (упоређење класичних и шатл система је дато у Табели 13-8 /Kartnig и др. 2012/), док се модули хоризонталних и вертикалних карусела користе појединачно или груписани у малим или средњим апликацијама.

13. Складишта

Табела 13-8. Упоређење између класичне складишне дизајнице и шатл система

	Класична складишна дизајница	Шатл систем
ЗА	- проверена, класична технологија (опрема, управљање, коришћење) - једноставно управљање системом - обнављање енергије - мање ангажовање инжењера - инвестиција (палетни регал) - јефтинији са великим складишним простором и осредњим протоком	- високе перформансе код стратегије "роба човеку" (до 1.000 узимања на сат) - добра прилагодљивост (перформансе, капацитет) - добра енергетска ефикасност, мања потрошња (просечно 100 W по шатлу) - употреба суперкапацитета - платформе за опслуживање у ходнику - аутономна возила (регал + подручје за напајање)
ПРОТИВ	- ограничене перформансе за ходник (до 120 сложених циклуса на сат) - висока потрошња енергије (20 kW) и сложеније електричне инсталације - ниска редунданца - повећане тешкоће за проширење	- високе инвестиције (регали, погон, шине, лифт) - већа сложеност управљања складиштем (више интерфејса, возила и лифтова) - вертикални транспортери одређују проток - ограничена тежина и димензије робе на складишту - повећано ангажовање инжењера

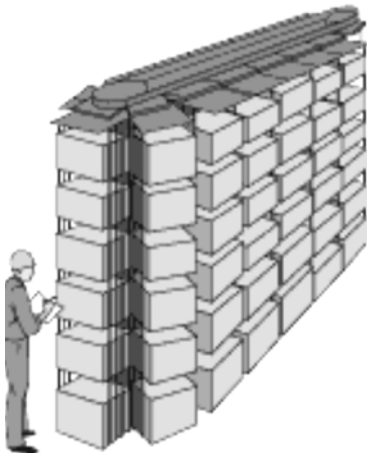
13.16. Карусели, хоризонтални и вертикални

Хоризонтални Карусел остварује идеалан принцип "роба човеку". Састоји се од фиксног броја складишних колона, механички повезаних с погонским механизмом (слика 13-89). Колоне су подељене на фиксни број складишних локација (полица). Одлагање и узимање је ручно или аутоматско. Покретање карусела је у већини случајева аутоматизовано. Погонски механизам ротира Карусел лево или десно да би оператеру брзо довео тражену локацију за захватање, што елиминише кретање радника. Оператер може да ради на више карусела, док карусел доноси тражене артикле (слика 13-90). Положај радног места омогућава уштеду простора. Софтвер аутоматских карусела даје оператеру податке о траженом броју артикала и њиховој локацији. Рачунар има датотеку података и контролише текуће стање на локацијама. Карусели се користе за узимање артикала, а допуњавају се из главног складишта. Поуздани су, дуготрајни, тихо раде и захтевају минимално одржавање. Користе се у производњи за чување алата, прибора, резервних делова и делимичних склопова у монтажи. Постављају се обично близу производних линија или радних станица. У комисионирању и дистрибуцији користе се код великог интензитета наруџбина.

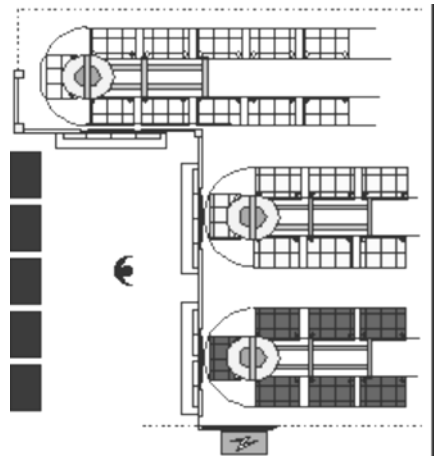
Вертикални карусел састоји се од фиксног броја полица које ротирају у вертикалној равни (слика 13-91). Предвиђа се такође, аутоматско одлагање или узимање, али ређе него код хоризонталних карусела. Успешно замењују системе полица (слика 13-92) и ефектно користе ваздушни простор. Погодни су за складиштење веома вредних делова. Могу се интегрисати у производни простор као део опреме. Један РС рачунар довољан је за управљање радном станицом карусела или каруселима са више локација.

Карактеристике примене карусела су следеће:

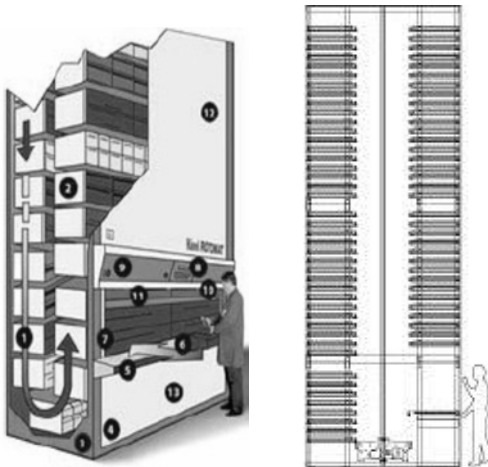
- повећана продуктивност,
- смањен број запослених,
- кратко проточно време,
- нема кретања радника и тражења производа,
- задовољени ергономски критеријуми,
- лака контрола оператора,
- веома ефикасно комисионирање,
- коришћење софтвера за управљање обезбеђује прецизан рад,
- мала могућност повреда на раду.



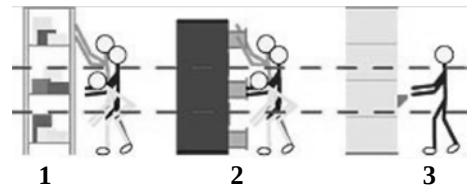
Слика 13-89. Хоризонтални карусел



Слика 13-90. Радна станица са 3 карусела



Слика 13-91. Вертикални карусел



Слика 13-92. Положај радника: полица 1, орман 2, вертикални карусел 3

13.17. Управљање аутоматским складиштима

Захтеви савременог тржишта за поузданим и расположивим системима складишта су изузетно високи. Испуњавају се израдом софтвера и система управљања коришћењем стандардизованих, и проверених софтверских модула. Ефективно интегрисано решење захтева снажан менаџмент складишта и системе за управљање токовима материјала (**WMS** - warehouse management system, **MFC** - material flow control system и **WCS** - Warehouse control system) који могу да контролишу кретање и складиштење производа у свим процесима. Ови системи генеришу неколико предности, као што је виши ниво опслуживања корисника (кориснички сервис), стање залиха и складишни капацитет. Од пријема робе, преко складиштења и преузимања, комисионирања, сортирања и прикупљања до отпреме, треба да обезбеде ефективне логистичке операције у систему кроз савремено управљање складиштем и системом тока материјала /ten Hompel, Schmidt 2007/.

Систем управљања складиштем (**WMS**) је софтверска апликација, предвиђена да подржи менаџмент и особље складишта или дистрибутивног центра. Олакшава управљање у планирању дневних активности, организацији, усмеравању и контроли коришћења расположивих ресурса, кретању и чувању материјала, унутар и изван складишта, док особље обавља текуће послове.

Регулисање тока материјала полу или потпуно аутоматизованих процеса се обавља помоћу регулатора протока материјала (**MFC**), који представља интерфејс између система за управљање складиштем (**WMS**) и аутоматског складишта и дужан је да оптимално контролише проток материјала. Омогућава комфорну и флексибилну контролу аутоматизованих уређаја. Свака јединица за трансфер је доведена до свог одредишта помоћу интегрисаног претраживача пута, који анализира тренутно стање целокупног тока материјала. Служи као конектор и повезује палетне транспортне системе, контејнерске транспортне системе, системе за складиштење и проналажење, линије за паковање различитих произвођача, и зато је кључна компонента потпуно аутоматизованих складишта.

Преко интегрисане визуализације, корисник има редовни увид у тренутни проток материјала и може активно да утиче на процесе. **MFC** се лако се интегрише у **WMS**.

Систем за управљање складиштем (**WCS**) је софтверска апликација која у реалном времену усмерава активности у оквиру складишта и дистрибутивних центара. **WCS** је одговоран за одржавање неометања функционисања система, максимизирајући ефикасност подсистема кретања материјала и често, активности складишних сарадника. Обезбеђује јединствени интерфејс за широки спектар опреме за механизацију као што су **AS/RS**, карусели,

конвејери, сортирање, палетизери итд. Примарне функције **WCS**-а укључују /ten Hompel, Schmidt 2007/:

- Интерфејс са системом вишег нивоа **WMS** и размену информација потребних за управљање дневним операцијама.
- Доделу рада разним подсистемима механизације за уравнотежење активности система за обављање захтеваних послова.
- Пружање у реалном времену смерница за операторе и опрему механизације, да остваре захтеве при испуњењу поруџбине и усмеравања производа.
- Динамичко преусмеравање кутија на локације, на основу алгоритама за сортирање.
- Прикупљање статистичких података о оперативном функционисању система, да омогући оперативном особљу одржавање опреме у врхунским перформансама.
- Планирање операција.

14. ЛОГИСТИКА

Логистика је делатност која се бави савладавањем простора и времена уз најмање трошкова, координацијом кретања материјала, производа и робе у физичком погледу, информацијама и организацијом, од набавке, преко производње и продаје до потрошача. Логистика представља важан фактор у времену глобализације, као нова научна дисциплина.

The Intralogistics Forum of the **Verband Deutscher Maschinen - und Anlagenbau (VDMA)** даје дефиницију за логистику: *Организација, управљање, извршење и оптимизација токова материјала и информација у фабрикама, као и претовара робе у индустрији, дистрибуцији и јавном сектору* /ten Hompel, Heidenblut 2011/. Термин логистика описује систематски приступ свеобухватној оптимизацији система протока, нпр. систем тока материјала, изван граница појединачних система. Посебан акценат је дат на такозвани "6П" принцип логистике, који описује логистички циљ код испоруке клијентима: Права роба у право време, праве количине, правог квалитета, на правој локацији и уз праве трошкове. Овај принцип је широко прихваћен. У овом контексту "право" значи, испуњење захтева купаца као што је наручено, захтевано, очекивано, уз минималне трошкове /ten Hompel, Schmidt 2007/.

Логистика обухвата управљање токовима робе између места порекла и крајње потрошње како би се испунили захтеви купаца или корпорација. Ресурси којима се управља у логистици могу да обухвате физичке предмете (роба, материјали итд.), или апстрактне појмове, као што су време и информације. Логистика физичких предмета обично подразумева интеграцију протока информација, индустријске опреме, производње, паковања, залиха, транспорта, складиштења, а често и безбедност и здравље на раду и екологију. Логистички процеси могу да се моделирају, анализирају и прикажу, често користећи софтвер за симулацију. Минимизирање коришћења ресурса је најчешћи мотив у свим областима логистике.

Логистички систем је скуп елемената техничке, технолошке, организационе, економске и правне природе с циљем оптимизације токова материјала, роба, информација, енергије и људи на одређеном подручју ради остварења повољних економских ефеката. Основу логистике чини теорија система, односно да главни проблем није у оптимизацији посебних области, већ целог система.

Логистика као наука представља скуп мултидисциплинарних и интердисциплинарних знања која изучавају и примењују, законитости планирања, организовања, управљања и контроле токова робе, материјала, енергије, информација и људи у систему. Развија методе оптимизације свих тих кретања у циљу остваривања профита. Логистичке системе дефинишу: структура (подсистеми, елементи), околина (окружење), границе и процеси (у систему и између система и околине).

Етимологија појма логистика /Wikipedia, Logistika 2013/:

- на француском - **logistique** - изведено из подофицирског чина "*Marechal de logis*", чији је задатак био планирање административних послова везаних за кретање снага у француској војсци у 17. веку,
- на грчком - **logistikos** - вештине, искуства и знања о чувању и процени свих релевантних елемената у простору и времену, потребних за оптимално решавање стратешких и тактичких задатака у свим областима људских активности.

Развој логистике /Wikipedia, Logistika 2013/:

- 17. век, Француска, снабдевање војске потребним средствима и обезбеђивање смештаја,
- крајем 19. века, САД, војничка литература за позадинску војну службу,
- средином 20. века, израз је из војног ушао у привредно подручје,
- 1961. године, прва књига из пословне логистике, оријентисана на физичку дистрибуцију,
- друга половина 20. века, логистика се афирмише као наука и привредна активност.

Логистика као пословна функција /Wikipedia, Logistika 2013/: Обухвата све делатности потребне за припрему и реализацију просторне и временске трансформације добара и знања. Настоји да употребом људских ресурса и средстава у системима стави на располагање тржишту тражена добра у право време, у траженој количини, правог квалитета, на правој локацији, по правој цени, уз тачне инфомације и минималне трошкове, како би се постигла већа профитабилност.

Логистички системи могу се поделити на следеће области:

Мегалогистика представља стратешки скуп логистичких активности и знања, законитости и теорија који се односе на логистичке феномене великих просторних и временских димензија. Задатак је да оптимизира логистичке активности и токове унутар мегалогистичких система.

Глобална логистика је процес усмеравања логистичких потенцијала и ресурса на могућности глобалног тржишта. Задатак је да омогући компанијама да ефикасно и ефективно одвијају своје логистичке услуге унутар глобалног логистичког система.

Металогистика ставља тежиште на партнерство између компанија и на поделу одговорности са циљем да се у логистички процес укључе све релевантне компаније, тако да крајњи потрошач добије прави производ, у право време, уз најниже трошкове, квалитетно и у траженој количини.

Интерлогистика обухвата интернационализацију пословања, интензивирање конкуренције, развијања транспортне инфраструктуре и супраструктуре, веза **ИТ** и глобализације пословања.

Сервисна логистика обухвата пословање предузећа која се баве пружањем услуга и предузећа која производе резервне делова и снабдевају крајње кориснике квалитетним деловима.

Информациона логистика је скуп логистичких активности које осигуравају систематско и ефикасно прикупљање примарних и секундарних података, побољшавају њихову обраду, употребу и размену са другим учесницима у логистичком ланцу, подстичући компаније да ефикасно користе потенцијале савремене рачунарске и телекомуникационе технологије.

Логистика управљања (менаџмента) обухвата логистичке активности које обезбеђују развој ефикасних система управљања компанијом на основу координације разних активности везаних за управљање и контролу, као и доношења одлука на свим нивоима.

Логистика одрживог развоја је скуп активности које обезбеђују синергијско остваривање привредних и еколошких циљева у складу са еколошким законима и законима за заштиту потрошача.

Интралогистика се заснива на развијању логистичких процеса и логистичких феномена важних за ефикасно и ефективно обављање интер и интра задатака пословних функција. Интралогистика /Bank, Vehking 2005/ обухвата организацију, оптимизацију и извођење унутрашњих токова

материјала у предузећима, индустрији, трговини и јавном сектору помоћу техничких система и услуга. Управља токовима материјала дуж целокупног ланца снабдевања материјалима, описује унутрашње токове материјала и информација између логистичких чворних места, од производње, преко робних центара, до интермодалних железничких терминала, аеродрома и лука. Представља област окренуту будућности, обухвата произвођаче опреме за унутрашњи транспорт и складишта, информационе технологије, софтвере итд.

Производна логистика описује логистичке процесе у којима се ствара додатна вредност (нпр. фабрике или рудници). Бави се координацијом унутрашњих токова материјала, у погону, у оквиру радних места, са циљем да прави материјали, у потребној количини, у право време буду испоручени уз минималне трошкове.

Логистика дистрибуције се бави процесом кретања и чувања робе од произвођача до потрошача. При томе, треба да буде задовољен принцип "6П". Чворови дистрибутивних мрежа обухватају:

- Фабрике (производња, монтажа).
- Стандардне типове складишта (висок ниво залиха).
- Дистрибутивне центре: служе за пријем и отпрему робе (нижи ниво залиха), као и за пријем повратних јединица од клијената.
- Транзитне тачке за претоварне активности (Cross docking, видети Поглавље 13.4), служе за поновно формирање **ТЈ**, на основу заказаних испорука (углавном кретање робе).
- Традиционалне малопродајне објекте, супермаркети, хипермаркети, дисконти, итд.

Логистика ванредних ситуација је термин који се користи за транспорт робе у хитним случајевима од ланца снабдевања, у критичним интервалима времена, код застоја у производњи или хитних логистичких услуга (застој у авио саобраћају, квар енергетских или **ИТ** система итд.).

Green (зелена) логистика описује све покушаје да се мери и минимизира утицај логистичких активности на животну средину. Постиге се кроз интермодални транспорт, оптимизацију пута, контролу засићења саобраћаја и градске логистике. Интермодални транспорт робе обухвата превоз терета у интермодалним контејнерима или возилима (железницом, бродовима и камионима), без руковања теретом при промени режима. Поступак смањује манипулацију, побољшава сигурност, има мање губитака и оштећења и брже транспортује терет.

Фактори који су утицали на развој логистике:

- глобализација и концентрација привредних активности,
- интернационализација производње и трговине,
- јачање конкуренције,
- развој и модернизација саобраћајне инфраструктуре и транспортних технологија,
- развој и афирмација логистичких центара, различитих терминала и слободних зона, и
- убрзани процес либерализације и приватизације, привредних сектора и појединих делатности.

14.1. Синхронизација тока материјала и информација

Термин логистика описује систематски приступ свеобухватној оптимизација система протока, нпр. систем тока материјала у и изван граница система. Логистичке перформансе система за оптимално пружање услуга, уз минималне трошкове, могу се постићи само када су проток материјала и информација добро координирани. У већини случајева ово значи да проток информација претходи протоку материјала и на тај начин омогућава резервацију свих неопходних капацитета (претовар, транспорт итд.) Присутни токови материјала укључују различите факторе, што доводи до подсистема у ланцу снабдевања. У класичном случају где је сваки елемент независан и посматра понашање својих купаца (наруџбеница) и његових добављача (време испоруке) и најмања одступања у понашању наручивања, на крају ланца снабдевања, могу довести до масовних осцилација у понашању наручивања, а самим тим и система залиха на почетку ланца снабдевања.

Овај феномен је описао је Forester 1950 /The Logistics Handbook 2011/. Данас, захваљујући ефикасним рачунарским и комуникационим системима, могу да се савладају ове сложене корелације. Кључни фактор је прерада и снабдевање важним информацијама учесника у ланцу снабдевања. Познате стратегије у овом контексту су: ефикасан одговор на потребе потрошача (Efficient Consumer Response), је директан одговор о систему залиха (добављача), као и заједничко планирање, прогноза и попуна (Collaboration Planning, Forecasting and Replenishment), захтева повезивање свих елемената у ланцу снабдевања у циљу координације наручивања и раније испоруке уским грлима /ten Hompel, Schmidt 2007/.

У области рационализације логистичких задатака данас је актуелан низ концепција (Efficient Consumer Response - **ECR**, outsourcing, **JIT**), што доводи до тога да су превазиђене конвенционалне техничке и организационе методе,

које су у претходном периоду представљале стандард. Крутим раздвајањем традиционалних улога произвођача и продавца, као и недостатак сарадње између њих, доводи до непотребног блокирања ланца снабдевања и не коришћења синергије моћних нових информационих технологија и планираних алата. Тржиште постаје веома динамично и треба да рачуна на односе добављача и потрошача. Модерне компаније морају да прате логистичка кретања изван својих редова. Главни разлози примене и опис поступка наведени су у Поглављу 13.1.3.

14.1.1. Е-логистика

Једна од области која је постала значајна у последњих неколико година је *е-логистика*, термин који се може дефинисати као *планирање, управљање и контрола робе, информација и монетарног протока дуж комплетног ланца снабдевања помоћу јавних и приватних мрежа (Internet, intranets), односно преко интернет налога купца* /eLogistics-Facts 1.0. 2001/. *Е-логистика повезује елементе индустријских активности са интернетом*. Искуство је посебно показало да ефикасна логистика и брзи системи протока материјала одлучују да ли ће пројекат да успе. Пракса је показала да класични дистрибутивни системи често не испуњавају захтеве е-логистике. Одлучујући фактор за успех је веома флексибилно и брзо руковање малим, али бројних налозима купаца у складу са динамички различитим наруџбеницама и опсегом артикала.

Курирске, експрес и пакетне услуге (**СЕР** services and e-Commerce), задњих година имају динамичан раст. Овај успех је тесно повезан са понашањем потрошача и потребном брзином реакције компанија. Посебно у погледу будућег развоја е-трговине, прогнозе предвиђају даљи раст у овом сектору /eLogistics-Facts 1.0. 2011/. Измењено понашање корисника има негативне ефекте на процесе у дистрибутивним центрима, где све већи низ мањих пошиљки мора да буде испоручен у кратком времену. Ови захтеви се могу ефикасно испунити консеквентно, користећи погодну контролу и документацију система.

14.1.2. Паковање

На почетку сваког логистичког процеса постоји потреба да се заштити роба од разних утицаја у току транспорта, претовара и складиштења. Поред своје основне функције да се заштити роба, процес паковања мора да испуни много других услова, нпр. опасна роба (заштита радника и околине). Ефикасно руковање током ових процеса паковања треба да буде у облику униформне јединице погодне за транспорт и складиштење. У малопродајним објектима паковања треба да имају високи маркетиншки ефекат. Информације на пакету треба да идентификују робу (нпр. штампани бар-кодови). Разноврсни захтеви,

генерално могу да буду испуњени само када постоји добро координиран систем паковања. Из тог разлога, различите врсте паковања се предвиђају за поједине ланце превоза (транспортно паковање, за финалног потрошача итд.). Детаљнији опис технологије паковања је дат у **DIN 55405 /1993/** и **/Lange et al. 1997/**.

Потребно је направити преглед свих типичних јединица (логистичких) које су трансформисане у овим процесима. Према **/Junemann et al. 1999/**, такав процес трансформације представља промену система стања робе у односу на време, локацију, количину, састав или квалитет. Јединице су присутне у складишним системима у различитим облицима и комбинацијама, зависно од захтева надлежних подсистема, а на захтев корисника. Успостављени су различити услови који се користе у логистичким системима. Као последица тога, студија токова материјала почиње са количинама и карактеристиком робе која мора да се трансформише у одговарајући систем. Доносиоци одлука таквих токова материјала, стављају потпуно различите захтеве тим јединицама са обзиром на њихов састав. На почетку процеса произвођачи траже да производе робу у економским количинама (серије) и превозе их што је могуће ефикасније до следећег купца. Важан аспект у том контексту је усклађивање токова робе и процеса. Логистика и системи токова материјала произвођача углавном су дизајнирани за ефикасно руковање са ограниченим бројем артикала у великим количинама. Та структура се мења са појавом е-трговине, где се класична структура трговања избегава и где је сваки произвођач директно везан за крајњег потрошача.

Свака упакована роба која представља јединицу у оквиру логистичког система, не мора да буде логистичка јединица. Такве јединице су изграђене са циљем да комбинују појединачну робу на одговарајући начин, тако да потребне логистичке активности могу да се изведу на оптималан начин. Циљеви формирања логистичких јединица приказани су у Табели 14-1 **/ten Hompel, Schmidt 2007/**. У идеалном случају логистичка јединица пролази комплетан ланац саобраћаја непромењена (складиштење, претовар, транспорт и утовар). Међутим, овај циљ је готово немогуће постићи. Посебно, у ланцима снабдевања, на више нивоа, постоји тренд ка мањим јединицама. Логистичка јединица може бити креирана избором одговарајућег облика паковања. Један од примера је и консолидација конзерви за пиво у пакете. Пакети су обично најмање јединице за руковање, за превоз се комбинују и формирају теретне јединице (**TJ**).

14. Логистика

Табела 14-1. Циљеви формирања логистичких јединица

ЦИЉ	ПРИМЕРИ
Упрошћавање процеса и смањење трошкова	Мањи број претовара Избегавање непотребних процеса идентификације Минимизирање тестова, мерења и бројања
Стандардизација	Прилагођавање техничких уређаја Стандардизовани интерфејси за комисионирану робу Стандардизоване димензије за коришћење универзалних уређаја
Променљивост	Флексибилне радне групе
Функције	Побољшати доступност слагања Омогућити приступ

Формирање теретних јединица (**ТЈ**) је ефикасна консолидација робе у веће јединице којима се рукује помоћу одговарајућих механизованих средстава. За побољшану заштиту производа у транспорту, јединице су заштићене сигурносним средствима. Зависно од њиховог облика и/или функције, ова средства су класификовани према /VDI 3968 Blatt 1-6/ (видети Поглавље 13.1.2). Од посебног интереса за решавање тока материјала представљају различите комбинације паковања и теретних јединица, а то је посебно значајно за систем комисионирања, област која је најкритичнија у складиштима. Напомиње се, да комисионирање представља значајну, веома динамичну, складишну функцију и веома осетљиву област у процесу пројектовања складишних система (видети детаљније у Поглављима 13.3 - 13.3.4).

14.1.3. Складишна логистика и токови материјала

Планирање система обухвата интегралну анализу, планирања и пројектовања сложених логистичких система предузећа. Развијене методе и алати треба да омогуће усклађивање различитих функционалних области логистике и стварање оптималног система. Ово укључује свеобухватни приступ тимског планирања складишта, система комисионирања, руковања материјалом и транспорта. Процес планирања обухвата перспективу процеса, као и разматрање одговарајућих логистичких система. Ова перспектива објашњава како ће компанија да задовољи потребе купаца, и да испуни финансијске циљеве, конкретно:

- Које нове системе пословања компанија треба да развије?
- Које постојеће процесе компанија треба да промени?

Задаци развоја система обухватају све од анализе, планирања и пројектовања логистичких система, анализе тендера, па све до подршке у току имплементације. Пре него што се постојеће складиште проширује или се планира нови објекат, фундаментална питања у вези складишне логистике треба да се поставе /Fraunhofer **IML**/:

- Да ли све позиције морају да се складиште, или је могуће да добављачи достављају поједине ставке?
- Колики је потребан простор за сваку позицију и колики је оптимални ниво залиха за исту?
- Да ли су транспортни путеви и локације ставки са веома високим обртом пожељни?
- Да ли постоји могућност стандардизације специфичних позиција (димензије и маса)?

Планирање идеалног layout-а складишта захтева уравнотежење између веома различитих фактора (видети Поглавље 13). Они обухватају:

- Изградњу вишенаменске зграде или складишта за посебне намене.
- Могућност проширивања површине складишта и промене система механизације.
- Складишне позиције и висина складишта утичу на конструкцију и решење заштите од пожара
- Захтеве осигуравајућег друштва у складу са заштитом и применом прописа.

Layout складишта, активности, ограничења, као и димензије материјала који се складиште одређују потребну опрему за руковање. Природа и layout планираног логистичког система значајно утичу на наредне кораке. Прво, издавање дозвола, даље, избор погодних добављача, морају да се изаберу у тендерском поступку - процена долазних понуда. Код сложених система могуће је да се провери развијена концепција применом симулације.

14.1.4. Актуелни захтеви интралогистике

Савремени складишни системи захтевају брзе и флексибилне одговоре на тренутне осцилације тржишта, односно потребу за променљивим капацитетом и брзим реаговањем на захтеве купаца, тако да је усвојена парола "напуни и вози" (plug and convey). Анализе су показале да је потребно развијати мобилне, целуларне (Cellular) транспортне системе који би били способни да испуне ове захтеве. Идеја је, да ови системи треба да задовоље следеће захтеве /ten Hompel, Kamagaew 2011/:

- Флексибилност и већи степен универзалности.
- Повећање прилагодљивости система тока материјала.
- Нефлексибилну технологију континуалних транспортних система, заменити малим аутономним транспортним јединицама.

- Предвидети управљање на принципу "Интернет ствари"¹ (Internet of Things, скраћено **IoT**, немачки Internet der Dinge).
- Користи "колективну интелигенцију"² (Swarm intelligence) за решавање комплексних транспортних задатака.
- Аутономно решавати (савлађавати) појединачне пошиљке.

Целуларни транспортни системи (Cellular transport systems нем. zellulare Fördertechnik), такође се зову и "хелијски транспортни системи", базирају се на аутономним ентитетима средстава механизације. Ово су аутономна транспортна возила (Shuttle) и/или аутономни модули транспортне технологије. Међусобна комуникација ентитета спроводи се као сопствено управљање преко софтвера. Целуларни транспортни системи имају флексибилну топологију. Распоред транспортних ентитета у простору (layout руковања материјалом) може да се промени у свако доба, уколико је кретање логистичких објеката стратегија, или су унешени одговарајући коефицијенти, тако да следе своје **агенте**³ у комуникацији са окружењем и једни са другима, независно према претходно дефинисаном циљу (нпр. ускладиштење/искладиштење, транспорт, сортирање итд.). Жељена појава у смислу уштеде ресурса код испуњења циља, резултат је интеракције између транспортних ентитета и одговарајућих (сервис-оријентисаних) ентитета.

Систем "Multi Shuttle Move", пројектован у институту Fraunhofer **IML**, представља успешно развијен производ за складиштење. Значајна вредност складишног система није само чување робе и комисионирање, већ тачан редослед по којем ће контејнери да стигну до одредишта. Претходни складишни системи са конвенционалном конвејерском техником често имају велике трошкове током планирања и реализације. Идеја за оптимизацију ове области, утицала је на развој новог уређаја, развијеног у сарадњи са компанијом Dematic (слика 14-1). У поређењу са претходним шатл возилима, има нови навигациони систем. Као резултат тога има функционалност једног

¹ **Интернет ствари** (енгл. **Internet of Things**, скраћено **IoT**) се односи на мрежу физичких објеката, уређаја, возила или „ствари“ са уграђеном електроником, софтвером и сензорима, који омогућавају објектима да размењују податке са произвођачем, оператером и/или другим мрежно повезаним уређајима. Данас, међутим, термин "The Internet of Things" се користи да означи напредна повезивања уређаја, система и услуга, који досежу комуникације машина ка машини (machine-to-machine) и покривају различите протоколе, домена и апликација /Wikipedia, Internet of Things 2016/.

² **Колективна интелигенција** (енгл. **Swarm intelligence**, **SI**) је дисциплина која се бави природним и вештачким системима састављеним од многих појединаца који координирају користећи децентрализовану контролу и самоорганизацију. Конкретно, дисциплина се фокусира на колективном понашању које произилази из локалних интеракција појединаца једних са другима и са својом околином /Scholarpedia, Swarm intelligence 2014/.

Колективна интелигенција је колективно понашање децентрализованих, самоорганизованих система, природних или вештачких. **SI** системи се састоје углавном од популације једноставних агената у интеракцији локално једни са другима и са својом околином /Wikipedia. Swarm intelligence 2016/.

³ **Multi-agent system** је компјутеризовани систем који се састоји од више међусобно повезаних интелигентних агената. Користе се за решавање проблема које тешко или немогуће могу да реше појединачни агенти или монолитни систем /Wikipedia, Multi-agent system 2015/.

AGV, али може да се креће без водећих фиксних репера. Карактеристике управљања системом обухватају:

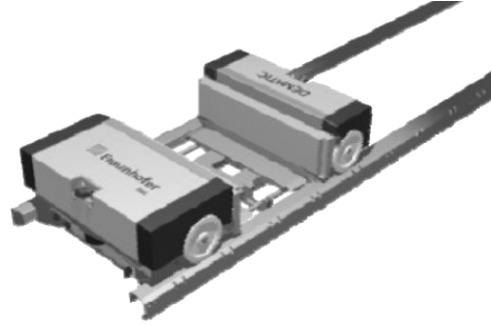
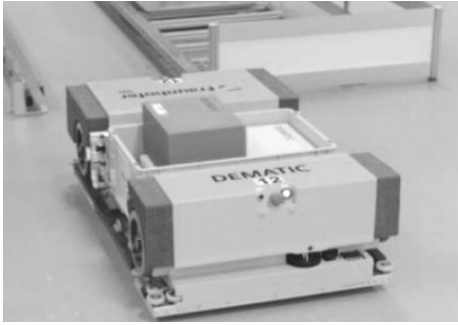
- Мулти-агент систем за "Интернет ствари" (**IoT**) и принцип "Колективне интелигенције" (Swarm intelligence).
- Повећане захтеве за капацитетом рачунара, због повећања степени слободе.
- Сваки транспортни ентитет може да комуницира са другим субјектима.
- Транспортни уређај преноси налоге.
- Сва возила морају самостално да испуне транспортни задатак превоза (аутономно понашање).
- Обимни транспортни задаци могу да се брзо и ефикасно испуне, пошто се користи знање колективне интелигенције.
- Визуелизација помаже решавању проблема.
- Осигурана је интеракција са људима и неаутоматизованим возилима.

Техничка реализација система:

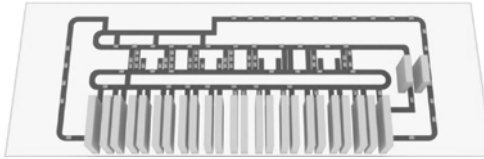
- Аутономна, интелигентна, самоорганизована транспортна возила.
- Мултимодални концепт шасије (вози у регалима и по поду).
- Децентрализовани концепт управљања уз коришћење аутономних могућности колективне интелигенције.
- Комуникација са сензорима чворова и **WiFi** према **IEEE 802.15.4** и **IEEE 802.11**.
- Хибридни сензорски концепт радиолокације, растојања и инерцијалних сензора.
- Интелигентно дистрибуирана локализација и избегавање судара.

Упоредни показатељи класичног решења складишта и решења са Multi Shuttle Move возилом слике 14-2 и 14-3 (детаљна анализа наведених система још није доступна):

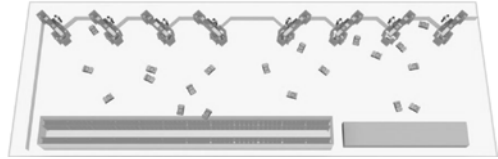
- Конвенционално решење: транспортни пут 50 m од извора до одредишта.
- Мобилна, целуларна возила: транспортни пут 22 m од извора до одредишта.
- Техничке предности: прилагодљивост, флексибилност, слободан избор трасе, директни пут, нема дизалица, конвејера, скретница итд.



Слика 14-1. Мобилно возило Multi Shuttle Move



Слика 14-2. Класично решење складишта



Слика 14-3. Решење са Multi Shuttle Move

14.1.5 Информациона логистика и системи за подршку у одлучивању

Смерница "Праве информације, у право време, на правом месту", описује циљ информационе логистике за оптимизацију планирања и управљања логистичким процесима, неопходним за било коју компанију. Информациона логистика је данас посебно важна, јер у глобалним тржиштима, пословни процеси морају да се стално трансформишу и да ефикасно реагују. У променљивом окружењу, важне и релевантне информације морају да буду стално доступне, да би могле да се донесу исправне одлуке. Информациона логистика и системи за подршку одлучивању (logistic assistance systems), треба да подрже информационо повезивање са интелигентним и ефикасним методама (симулација и оптимизација). При пројектовању, планирању и контроли логистичких процеса, људски фактор у доношењу одлуке и даље је у центру. Ефикасна логистика може да се гарантује само када су на располагању оптимални информациони технолошки ресурси. Системи се фокусирају на подршку доносиоцима одлука, који требају да обављају сложене задатке. Они прикупљају информације из разних извора, и уграђују их у логистичку мрежу. Подаци могу да се оцењују симулацијом процеса и логистичког система, и то да се опише тренутна ситуација или будући сценарио. Интелигентне оптимизационе технике помажу кориснику у процесу коначног доношења одлука.

Правилна процена одлуке о избору алтернатива зависи од потпуног знања о текућој ситуацији. Поред података из различитих предузећа, системи за

доношење одлука, директно користе податке са сензора на току материјала у циљу утврђивања комплетне и оптималне базе података. Термин аутоматска идентификација (**Auto ID**) обухвата различите методе идентификације, као што су бар-код и **RFID** технологије и оптичку детекцију са камерама. **Auto ID** системи могу да обезбеде информације системима за помоћ у одлучивању и чине основу за Интернет ствари (Internet of Things). Потенцијал употребе **Auto ID** технологија за проток материјала биће у потпуности реализован уколико подаци из **IT** система буду достављени и доступни одмах.

14.2. Логистички систем

Логистика побољшава ефикасност и ефективност трошкова. Ефективан ланац снабдевања доприноси побољшању економичности у свим деловима програма, а може да се протеже и до ограничених ресурса. Јачање логистичког система је инвестиција која се исплати на три начина /The Logistics Handbook 2011/:

- смањује губитке због прекомерних залиха, отпада, робе са истеклим роком, оштећења, ситних крађа, и неефикасности;
- штити и друге велике програме инвестиција;
- повећава потенцијал за повраћај трошкова.

Управљање логистиком обухвата низ активности које подржавају шест права¹ (6П). Модел који су развили логистичари илуструје однос између активности у логистичком систему - представља логистички циклус. Главне активности логистичког циклуса су /The Logtics Handbook 2011/:

- **Опслуживање клијената.** Све активности у логистици (набавка, складиштење, дистрибуција производа итд.) се обављају да се задовоље потребе клијената. Логистички систем треба да обезбеди опслуживање клијената испуњавањем шест права (6П). Свака активност у логистичком циклусу, мора да допринесе одличном опслуживању клијената и да обезбеди сигурност робе.
- **Избор производа.** Производи одабрани за коришћење ће утицати на логистички систем, тако да се логистички захтеви морају узети у обзир приликом избора производа.
- **Квантификација.** Потреба да се обезбеди непрекидно снабдевање, одређује када производи треба да буду набављени и дистрибуирани.
- **Набавке.** Пошто је развијен план снабдевања, као део процеса квантификације, одређене количине производа морају да се набаве.

¹ Прави производ, у правој количини, у правом (одличном) стању, на право место, у право време, за праву цену (The Six Rights of Logistics)

Набавка треба да прати низ конкретних поступака, који обезбеђују отворен и транспарентан процес који подржава 6П.

- **Управљање залихама: складиштење и дистрибуција.** Пошто је ставка набављена и примљена, мора да буде транспортована до нивоа испоруке, где ће клијент да прима производе. Током овог процеса, производи се морају чувати док не буду послати на следећи нижи ниво, или док их не тражи клијент.

Суштина логистичког система је да информације покрећу логистички циклус; без информација, логистички систем се не би глатко одвијао. На почетку циклуса, менаџери прикупљају информације о активностима система, анализирају информације да донесу одлуке и координирају будуће акције. На пример, информације о потрошњи производа и нивоу залиха морају се прикупити, да би менаџер знао колико од датог производа треба да набави, односно да донесе одлуке о појединим активностима логистичких циклуса. Остале активности које помажу и подржавају логистичке циклусе омогућавају да систем добро функционише. Ове активности обухватају:

- Организацију и запослене, који су важни делови циклуса. Логистички систем ће исправно да функционише уколико особље користи шест права (6П) као главни приоритет.
- Расподелу и управљање финансијама. Директно утичу на све делове логистичког циклуса, укључујући количине производа које се могу набавити, расположиви складишни простор, број возила која могу да се одржавају и број запослених у логистици.
- Надзор над запосленима у логистичком систему. Треба да помогне да се на време предвиде све потребе промене.
- Мониторинг и периодична процена ланца снабдевања и активности логистичког система, који треба да покажу какве су тренутне перформансе система.

Мониторинг квалитета треба да обезбеди ефикасан и ефективан логистички систем. Контролишу се активности логистичког циклуса и то квалитет производа и квалитет рада. Обухвата следеће:

- Има важну улогу у квантификавању и набавци правих производа, на основу одговарајућих карактеристика.
- Одлуке о набавкама треба да се заснивају на плану снабдевања који је развијен током квантификације. Производи који се набављају треба да буду брзо оцарињени или да прођу кроз другу инспекцију, пре него што се даље дистрибуирају.
- Важно је пратити квалитет производа од пријема, преко складиштења до дистрибуције.

- Између опслуживања клијената и избора производа. Када корисници добију производе, програм мора и даље да прати квалитет. Резултати мониторинга задовољства клијената се могу користити за информисање доносиоца одлука о променама у избору производа за наредни циклус набавке.

Политика и прилагодљивост. Поред елемената логистичког циклуса, два додатна фактора - политика и прилагодљивост - директно утичу на логистички систем. Важећи прописи и процедуре утичу на све елементе логистичког система. Прилагодљивост је карактеристика свих успешних логистичких система. Логистички системи морају бити пројектовани да буду флексибилни и да се прилагођавају променљивим околностима, као што су промене у потражњи за производом, или промене у политици финансирања логистичких активности.

Кључни логистички термини:

- Потрошња, издато кориснику, подаци о количини робе дате или коришћене од стране купаца.
- Ланац снабдевања (Supply chain management). Укључује све трансфере физичких добара и услуга, да се роба произведе и доспе до крајњег потрошача /Wikipedia, Upravljanje lancem snabdevanja 2013/.
- Локација пружања услуга (service delivery point). Објекат где корисници добијају залихе за своје потребе, у којима се производи користе или издају за даљу употребу.
- Водеће време (lead time). Временски период од када је нова залиха наручена, до тренутка када је примљена и расположива је за коришћење. Логистички менаџери оцењују колико добро логистички систем испуњава БП, мере водеће време и покушавају да га смање. Роба треба да буду доступна купцима у право време, нешто пре него што купац тражи производ.

14.2.1. Менаџмент логистичког информационог система

Информације покрећу цео логистички циклус. Квалитетне информације помажу да се донесу добре одлуке. Информациони систем логистичког менаџмента (**LMIS - Logistics Management Information System**) је систем евиденције и извештаја који се користе за прикупљање, организацију, и представљање логистичких података скупљених на свим нивоима система, да се донесу одлуке које ће да побољшају услуге клијентима.

Важни подаци за доношење одлука. Код прикупљања података за доношење одлука, потребно је знати које податаке и колико често је потребно прикупљати. Менаџеру логистичког система су неопходна три битна податка за

14. Логистика

доношење одлука: стање залиха, потрошња и губици и подешавања (Табела 14-2) /The Logistics Handbook 2011/. Иако могу да се користе и други подаци, ове три ставке су неопходне да се управља логистичким системом.

Табела 14-2. Битни логистички подаци

Подаци, позиције	Дефиниција	Пример
Стање залиха	Количине расположивих залиха... (Позиције које су неупотребљиве не сматрају се расположивим залихама, то су губици)	Стање на складишту... у kg, ком., последњег дана у месецу, итд. Неупотребљиве позиције... (губици у систему).
Потрошња	Количине на складишту које се издају корисницима или користе током одређеног временског периода	У последњих месец дана издато клијентима... Месечно (недељно) се издаје... ком., kg
Губици и подешавања	Количине повучене из складишта, осим оних које се испоручују клијентима (због истека рока, крађе, оштећења и слично). Подешавање - количине на складишту издате или добијене од других објеката на истом нивоу. Корекције, када се стање залиха не слаже са стањем на картицама. Подешавања могу да укључе позитивне или негативне промене на складишту.	У протеклих месец дана, истекао рок позицијама... (губитак), Негативно подешавање. Враћено... палета са исправном робом (позитивно подешавање).

Логистичка евиденција. Са логистичког аспекта, само три ствари могу да се десе у ланцу снабдевања: да се залихе чувају (складиште), крећу (у транзиту), или потроше (користе). Пошто желимо да у сваком тренутку пратимо производе, неопходне су нам три врсте логистичких евиденција:

- евиденција вођења залиха (информације о производима у складишту).
- снимање трансакција (информације о производима који се крећу).
- евиденција о потрошњи (информације о производима који се троше или користе).

Подношење извештаја. Прикупљени подаци о чувању залиха, трансакцијама и потрошњи мора да буду доступни менаџерима у облику који је користан за доношење одлука.

Подаци информационог система логистичког менаџмента. Купци очекују да пронађу праву робу, у правој количини, на правом месту, у право време, у правом стању и за праву цену (6П). Поставља се питање: да ли је разумно да логистички менаџери очекују да исто важи и за информације које су им потребне? Одговор је: да. Потребни су прави подаци (основни подаци о позицији), у право време (на време да се предузму акције), на правом месту (место где се доносе одлуке), а у правој количини (сви неопходни подаци из свих објеката). Подаци морају бити одговарајућег квалитета (да су потпуни и

тачни) и са правом ценом (не би требало да се троши више за прикупљање информација од трошкова за залихе) /The Logistics Handbook 2011/.

14.3. Складиштење (видети Поглавље 13)

Логистика складиштења, као део логистике, дефинише се као планирање, реализација, контрола и управљање ускладиштеном робом и информацијама везаним за тај процес. Функција складишта је динамичко уравнотежење токова материјала, чувајући залихе све док се не траже, затим комисионирање, односно припрема робе за расподелу крајњим корисницима. Активности складиштења нису само чување и издавање робе, већ и управљање и оптимизација складишним операцијама, брига о посебним условима чувања, сигурности итд.

Основни циљеви:

- Смернице за правилно складиштење посебних производа.
- Дефиниција поступка контроле (када је довољан визуелни преглед). Како да се идентификују и решавају проблеми квалитета производа после визуелне контроле.
- Како се израчунава захтевани складишни простор.
- Главне логистичке активности укључене у управљање отпадом.
- Главне активности управљања транспортним системом.

Захтевани складишни простор. Правилно складиштење подразумева ефикасно коришћење простора за складиштење. Неискоришћени простор складишта доноси губитке. Са друге стране, велика густина залиха на малом простору, може да проузрокује оштећења и тешкоће у праћењу залиха. Тако да је потребно посветити посебну пажњу израчунавању неопходног простора. За планирање функционалног layout-а и израчунавање складишних захтева, потребно је да се идентификују различите активности које ће утицати на планирање распореда и одредити идеалне услове простора за сваку активност и усагласити са постојећим ограничењима. Да би се одредили захтеви простора, неопходно је разматрати следеће:

- укупне потребе за складиштење палета, на основу вршних месец дана, или неког другог задатог периода, в. Поглавља 13.2, 13.3.7, 13.10, 13.11,
- потребан простор за пријем, инспекцију и карантин (по потреби), видети Поглавље 13.1.1,
- потребан простор за комисионирање, паковање и отпрему, видети Поглавља 13.3, 13.4, 13.6 и 13.7,
- тип опреме за складиште (регали, проточни регали, полице, итд.), видети Поглавље 13.2,

- захтевана ширина ходника, видети Поглавље 13.3.8 и 13.11.1.
- тип опреме за механизацију, разматрати пре куповине регала, полица итд.,
- димензије и маса производа,
- палете/контејнери (тип, димензије и маса), видети Поглавља 5.3, 13.1.2,
- максимална висина дизања терета (виљушкар, дизалица итд.),
- димензије зграде, носивост пода, видети Поглавље 9,
- укупан обим производа, робе за задати период,
- потребан простор за етикетирање, да би се задовољио принцип први коме истиче рок, први напушта складиште (**First-to-Expire, First-Out - FEFO**)
- укупни број јединица које треба да се чувају (нпр. број картона, димензије картона итд.)

14.4. Дистрибуција

Логистика дистрибуције је део логистике који обухвата, планирање, реализацију, контролу и управљање током робе и информација од произвођача до купаца. Задаци логистике дистрибуције су подршка свим операцијама у процесима дистрибуције и продаји готових производа купцима. Обухватају активности: обликовање дистрибутивне мреже, анализу потреба тржишта, управљање дистрибутивним центрима, планирање транспорта и складиштења, комисионирање робе, паковање и др. Остварује се ток материјала између произвођача и купаца, при чему се физички ток остварује комисионирањем, паковањем, претоваром, транспортом и складиштењем. Циљ логистике је да достави робу купцима (у потребно време, количини и квалитету) уз најмање трошкове.

Систем дистрибуције се састоји од тока производа који се креће од централног складишта, регионалних складишта до крајњих тачака за расподелу робе корисницима. Да би се постигло добро функционисање дистрибутивног система, потребно је узети у обзир неколико битних тачака у планирању превоза и извршења.

Пројектовање саобраћајне мреже. Када се пројектује нова саобраћајна мрежа или реконструише постојећа, потребно је анализирати:

- Која је идеална дистрибутивна мрежа, с обзиром на постојеће транспортне ресурсе? Да ли ће обезбедити задовољавајући ниво услуга, без прекида снабдевања?
- Каква је идеална дистрибутивна мрежа, уколико је доступно више ресурса?

Анализом ових информација моћи ће да се одреде погодни транспортни путеви за редослед испоруке и фреквенције за сваки објекат. Информације за идентификацију оптерећења и ресурса које би могле да изграде идеални дистрибутивни систем обухватају:

- месечну потражњу за производима, за сваког клијента (укупна количина, маса, обим паковања),
- локације и удаљеност објеката од њиховог снабдевача, друмом, железницом, ваздухом, или водом,
- детаљи флоте: списак возила у употреби; њихов тип; капацитет; и дужина расположивог времена за испоруку производа,
- особље обучено у активностима везаним за рад на одговарајућој опреми, планирању распореда испорука и извршења итд.

Током процеса пројектовања транспортне мреже, треба да се идентификују врсте возила која највише одговарају захтевима производа који ће носити. Исто тако, неки производи захтевају хладњачу током транспорта, а други не. Процес пројектовања превоза ће омогућити планирање финансија. Пројектују се фиксни транспортни трошкови укључујући амортизацију и осигурање, као и променљиви трошкови као што су гориво, дневнице особља и одржавање возила.

14.5. Пројектовање логистичког система

Потребно је разматрати општи контекст и процес пројектовања логистичког система, основна разматрања и смернице за пројектовање, техничке аспекте који се односе на пројектовање и последице на избор система (пројектног решења). Процес пројектовања може да се односи на стварање новог или реконструисање постојећег система у циљу побољшања или неопходних промена.

Сврха пројектовања логистичког система је стандардизација протока робе и информација. Техничко пројектовање логистичког система је један део ширег процеса. Цео процес почиње са проценом да се утврди да ли су испуњена БП и да ли логистички систем треба да буде планиран или реконструисан.

Пројектовање система је итеративан процес: неопходно је да се провери свака техничка одлука, направљена у било ком тренутку у току пројектних активности, са другим елементима који су већ предложени. Последњи корак у процесу пројектовања је да се посматра систем као целина и провери да ли ће сви делови система да раде и узајамно делују, како је замишљено. Потенцијални проблеми се решавају кроз додатну реконструкцију, пре него што је систем у потпуности готов.

Пројектовање система је засновано на претпоставкама. Сваки пут када се доносе одлука о неком елементу логистичког система, одлука је заснована на одређеним претпоставкама. Нпр. ако је пројектовани систем заснован на водећем времену од недељу дана, али знате да су у прошлости, наруџбине ретко обрађене за мање од месец дана, онда систем неће успешно радити зато што се водеће време базира на погрешним претпоставкама.

При пројектовању логистичког система, мора да буде приказан обим система, укључујући и производе који ће бити део система. Приликом одређивања која роба треба да буде део система, корисно је да се изврши анализа сегментације. Сегментација је процес разматрања и анализирања карактеристика производа и купаца за идентификацију сличности, приликом организовања ланца снабдевања за добијање најбољег одговора потребама купаца или захтевима производа.

Карактеристике робе обухватају:

- Рок трајања. Производи кратког века трајања треба да се брзо крећу кроз систем и захтевају низак ниво залиха, max.-min.
- Осетљивост на температуру. Хладни производни ланац захтева одговарајуће складиштење и дистрибуцију широм система.
- Брзо се креће, споро се креће, сезонски захтеви.
- Величина пакета, јединице. Велико паковање обично захтева нижи ниво залиха.

Карактеристике купаца:

- Променљива потражња. Учесталост употребе одређених производа, у различитим периодима времена (сезонска потражња).
- Комуникација и удаљеност од снабдевања.
- Складишни простор.

14.5.1. Поступак пројектовања логистичког система

Сваки корак у процесу пројектовања је описан у наставку, укључујући и кључна питања која се морају решити на сваком кораку. Први корак, треба да спроведе формалну или неформалну процену у идентификацији предности и слабости постојећег система и како би се утврдило да ли је потребно да се пројектује нови логистички систем, или реконструише постојећи. Пре почетка пројектовања, мора да се схвати средина (окружење) у којој систем ради, или ће функционисати. Ово помаже да се одреди шта може, или не, да се укључи у систем. Нека питања ће помоћи да се разуме шта обухвата контекст /The Logistics Handbook 2011/:

- Који су циљеви и захтеви за пројектовање система и перформанси?
- Каква је тренутна ситуација управљања робом? Да ли систем већ постоји, или га нема?
- Ако се ради о постојећем објекту (код реконструисања), да ли могу извесни елементи да се мењају или модификују?
- Који производи су укључени? Колико? Да ли је потребно да се размотре сви специфични захтеви за производ?
- Који су број, тип и локација објеката који ће управљати производима?
- Који су расположиви људских ресурси на сваком нивоу система?
- Који су расположиви финансијски ресурси?
- Ове врсте питања морају да се јасно разумеју пре почетка процеса пројектовања. Не треба губити време за пројектовање система који неће бити прихватљив за инвеститоре.
- Одређивање потребе за реконструисањем логистичког система. У региону је присутна висока стопа недостатака појединих производа.

Након што се утврди да је логистички систем (или недостатак логистичког система) узрок постојећег проблема, онда је време да се пројектује систем. Важна питања у овој фази обухватају:

- Како се дошло до одлуке да почне пројектовање система (или реконструкција)?
- Какав систем се тражи да се пројектује?

План и пројектовање система, треба да се спроведе на организован и партиципативан начин. Да би се достигао циљ у промени система, мора да се укључи корисник система у процес планирања /Зрнић и др. 2001/.

Током пројектовања система потребно је донети одлуке о свим великим техничким компонентама система, конкретно **LMIS** (видети Поглавље 14.2.1), Логистичком информационом систему (**ICS** - **I**nventory **C**ontrol **S**ystem), складиштењу и дистрибуцији. Основни елементи који покривају активности пројектовања укључују следеће:

- Преглед основних принципа логистике, који се примењују током активности пројектовања.
- Одређивање параметара и граница система. Ово обухвата разумевање постојећих елемената који би могли да се укључе у нови или реконструисани систем, параметара који могу или не могу да се промене, и других параметара које треба узети у обзир током процеса пројектовања.

Преглед основних принципа логистике ће осигурати да сви чланови пројектантског тима могу да разумеју логистичке принципе који ће се

применити током пројектовања. Договор о границама система и параметрима укључује прихватање свих постојећих елемената који могу да се примене у новом или реконструисаном систему, параметре који се могу или не могу мењати, и друге параметре које треба узети у обзир током пројектовања.

LMIS треба да обезбеди све евиденције и извештаје, укључујући и повратне информације извештаја који су већ у систему. Пројекат **ICS** треба да садржи max.-min. нивое залиха, критичну тачку наручивања и преглед периода за сваки ниво у систему. Потребно је анализирати типично време наручивања (lead time) унапред, помоћу кључних интервјуа, прегледа картица залиха и снимака трансакција. Као део пројекта, требало би да се развије стандардна процедура (standard operating procedures), која документује све кораке у систему.

Имплементација логистичког система је динамичан процес који захтева сталну обуку, мониторинг и евалуацију. Успех пројекта система дефинише колико је ефективан и ефикасан систем у пракси.

14.5.2. Пројектовање подсистема и елемената система

Проток робе и информација. Један од првих корака у процесу пројектовања је израда ланца снабдевања, то јест система кроз који ће роба тећи доле са виших нивоа до клијената, а такође и ток информација кроз систем. У општем случај је повољније, имати мањи број корака у процесу снабдевања, као и мање нивоа у ланцу снабдевања.

Систем контроле залиха који се одабере за дати систем ће диктирати обим робе која ће бити смештена и дистрибуирана кроз ланац снабдевања. Приликом одређивања захтева за складишне и дистрибуционе ресурсе, треба размотрити следеће елементе:

- Да ли има довољно простора за складиштење?
- Како ће роба прећи са виших нивоа на ниже нивое (нпр. дистрибуциони или комисиони систем)?
- Да ли су на располагању средства за дистрибуцију или комисионирање робе између свих нивоа система?
- Да ли постоји хладно складиште уколико је то потребно?

Захтеви складишног простора морају се одредити за сваки објекат, на сваком нивоу система; објекти морају имати складишни капацитет за складиштење до максималног нивоа залиха који је постављен за тај ниво. Транспортни ресурси морају бити расположиви на било ком нивоу и одговорни за физичко кретање производа. Тако, објектима на вишем нивоу ће бити потребна возила за испоруку робе ка нижим нивоима и обрнуто.

Складиште је најчешће главни подсистем у оквиру логистичког система, па је потребно посветити посебну пажњу и дефинисати све елементе неопходне за његову реализацију. Наводи се списак неопходних података за реализацију пројекта складишта:

- Просечни годишњи/или месечни промет робе по основним врстама,
- Улаз/излаз робе у/из складишта према типовима производа.
- Проценат непалетизоване робе и начин довоза (контејнер, камион итд.).
- Начин причвршћивања робе за палету.
- Количина робе која се због великог габарита не може складиштити на палетама (габарит, маса, услови складиштења).
- Роба која захтева специјалне услове складиштења (услови).
- Број и врста постојеће транспортне и складишне опреме (код реконструкције).
- Планирано радно време складишта.
- Да ли се на једној палети складиште различити артикли. Број таквих палета.
- Врста, број и основне карактеристике камиона у допреми/отпреми (носивост, врста товарног простора, габарит итд.). Приступ товарном простору при утовару/истовару?
- Начин отпремања робе из складишта. Складишним јединицама или на други начин.
- Број наруџбина (дневно/месечно). Број артикала и количине по артиклу по 1. наруџбини.
- Начин утовара камиона.
- Специфични услови складиштења појединих производа.
- Спецификација постојеће радне снаге (транспортни, складишни радници итд.).
- Носивост и квалитет пода складишта.
- Који се грађевински радови предвиђају у току реконструкције зграде складишта (померање стубова, дизање висине крова, постављање додатних укрућења итд.)?

14.5.3. Ефективни и ефикасни систем логистике

Сврха логистичког система је да пружи добру услугу клијентима, осигуравајући бП и да обезбеди да роба буде на располагању. Пројектовани логистички систем треба да омогући постизање ових циљева. Када се пројектује логистички систем, треба да се осигура да је систем ефективан и ефикасан, колико је то могуће. Ако је логистички систем ефективан (effective) он ће произвести резултате које желите: производи ће бити доступни када и где их клијенти траже (енгл. Doing the right thing). Ако је логистички систем ефикасан (efficient), онда може да постигне свој циљ уз минимално коришћење

ресурса; укључујући новац, време и труд (енгл. Doing things in right manner). Нпр. логистички систем може да буде веома ефективан, али неефикасан, ако производи стижу до клијената уз високе трошкове. Циљ је да се пројектује ефективан систем, који је по могућству и веома ефикасан.

Успех сваког пројекта у реализацији зависи од задовољства купаца, *тако да се циљ логистике може дефинисати као испуњење високог нивоа задовољства корисника, односно остварење ефективности*. Један од изазова у изради логистичког система је да се одреде захтевани ресурси, потребни на свим нивоима система и да достигну своју сврху. Неко мора да обезбеди средства за производе, да се крећу између нивоа система. При пројектовању и имплементацији логистичког система који ће остварити 6П и осигурати кориснички сервис, крајњи циљ би требало да буде да се минимизирају укупни трошкови управљања робом, односно ефикасност система.

14.5.4. Домаћи ресурси или outsourcing (услуге спољних сарадника)

Један фактор у пројектовању логистичког система је избор да се директно управља логистичком функцијом, или да се то препустити трећим лицима преко уговора. Нпр. уместо да поседује и одржава флоту возила и ангажује возаче, компанија може за транспорт робе да ангажује друго лице. Outsourcing може да се уради користећи многе друге моделе. Тачан модел једне земље или програма ће зависити од могућности и услова за земљу и специфичности програма. Ако се користи outsourcing, уговор мора да наведе критеријуме перформанси и показатеље (видети Поглавље 13.1.3).

ЛИТЕРАТУРА

- Ajzenberg: Proektirovanie mašinostroitel'nykh zavodov, Moskva, 1961.
- ALDEP**, Automated Layout Design Program, **IBM**, 1969.
- Aleksandrov, E.A.: Osnovi teorii 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 proektirovania mašinostroitel'nykh 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 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 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 analitical 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-MOULDDING, 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., Čuprić, 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, **IIPP**, 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, **IIPP** 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.