

Теорија пројектовања технолошких система и процеса

Проф. др Бојан Бабић

Литература

- Б. Бабић, (1994) FLEXУ – ИНТЕЛИГЕНТНИ ЕКСПЕРТ СИСТЕМ ЗА ПРОЈЕКТОВАЊЕ ФТС, Серија Интелигентни технолошки системи, Књига 5, Универзитет у Београду, Машински факултет.
- Б. Бабић, (2004) ПРОЈЕКТОВАЊЕ ТЕХНОЛОШКИХ ПРОЦЕСА (II издање), Универзитет у Београду, Машински факултет.

Сврха производње

- Задовољење потреба купца уз минималне трошкове
- Обогаћивање друштва кроз производњу квалитетних производа са ниском ценом и са минималним утицајем на животну околину
- Подизање вредности компаније (акција)

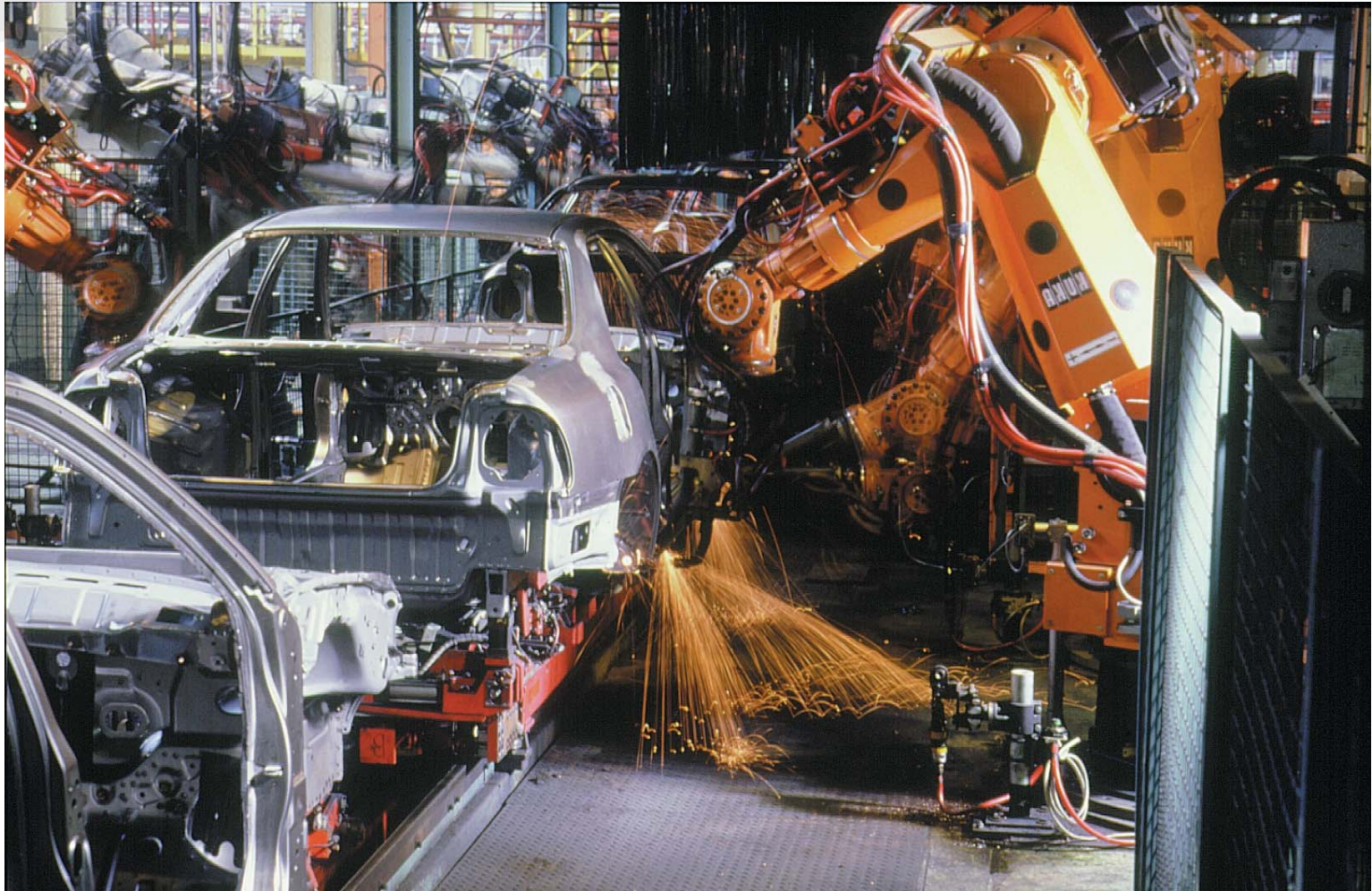
Функције производног система

- Пројектовање производа
- Пројектовање технолошких производа
- Израда делова и монтажа
- Планирање и управљање производњом
- Транспорт и управљање током материјала
- Административне функције

Врсте технолошких система

- **Распоред машина према производу**
 - Делови се кроз технолошки систем крећу секвенцијално исти путем
 - Пример: линије за монтажу и трансфер линије
- **Функционални распоред машина**
 - Машине су груписане према типу
 - Делови “посећују” различите машине у складу са технолошким поступком

Трансфер линија



Трансфер линија

- Линијски систем (скуп специјалних машина повезаних заједничким трансфер системом и управљачким системом)
- Подложен отказима

Трансфер линија (неке дефиниције)

- Циклусно време
 - Временски период после којег систем за руковање материјалом помера делове на следећу станицу
- Чврста аутоматизација
 - Трансфер линије намењене одређеном производу
- Аутоматизоване флексибилне линије

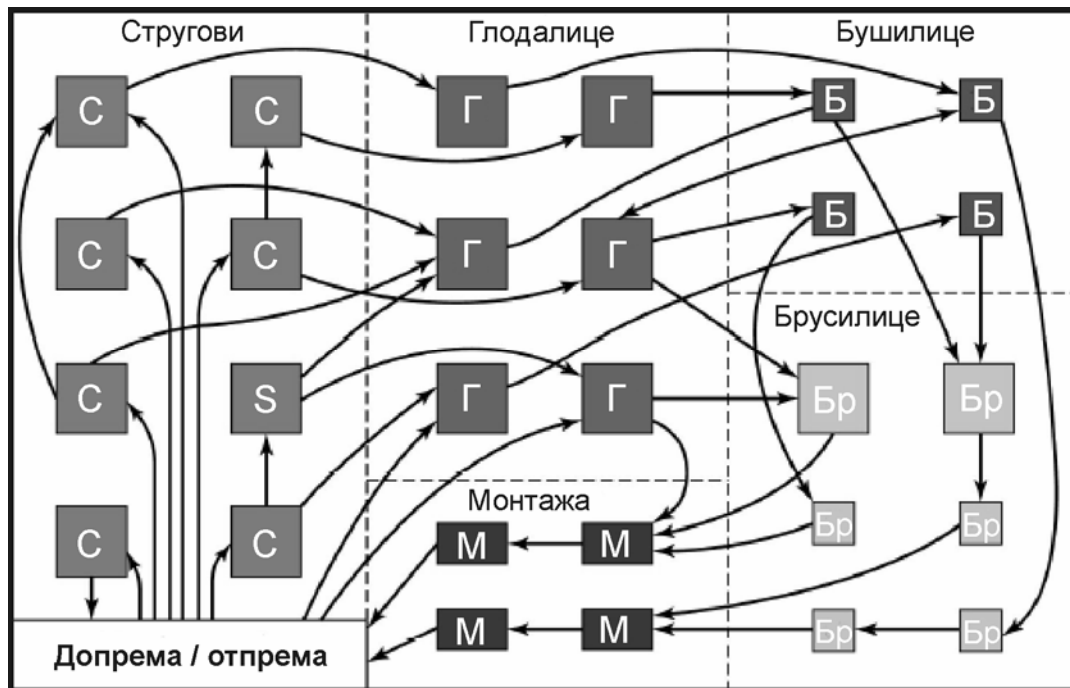
Трансфер линија (Циљ анализе)

- Капацитети бафера
- Степен отказа сваке станице
- Време поправке станице

Врсте технолошких система

- Функционални распоред машина
 - Машине су груписане према типу
 - Делови “посећују” различите машине у складу са технолошким поступком

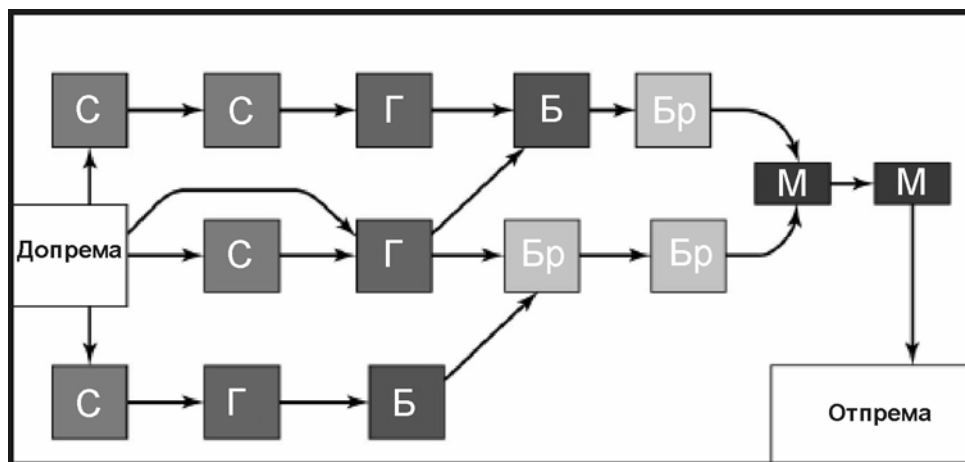
Функционални распоред машина



Врсте технолошких система

- Ћелијски (групни) распоред
 - Слични делови се групишу у фамилије
 - Према фамилијама се праве технолошке ћелије

Ћелијски распоред



Почеци

- Фландерова производна одељења оријентисана ка производу за стандардизоване производе са минималним транспортом (1925)
- Соколовски/Митрофанов: Делови са сличним технолошким формама се обрађују заједно
- Бурбрицово систематско планирање

Основни принцип групне технологије

- **Сличне “ствари” треба радити на сличан начин**
- “Ствари”:
 - Пројектовање производа
 - Пројектовање технолошких процеса
 - Производња и монтажа
 - Контрола
 - Административне функције

Начела групне технологије

- Поделити технолошки систем у мале групе или **ћелије** (1-5 машина)
- Ово се назива **ћелијска производња**

“Типична” ћелија

- Обрадни центар
- Уређаји за контролу и мониторинг на машини
- Магацини алата и делова
- Аутоматизована манипулација
- Управљачки хардвер

Формирање ћелија

- Раздвојити све делове у фамилије делова
- Машине распоредити у ћелије које одговарају фамилијама делова
 - остварити што већу независност ћелија

Полазни подаци

- Број различитих делова који се обрађује
- Величина серије за сваки део
- Технолошка путања за сваки део са следећим информацијама:
 - Редослед операција у виду машине потребне за извођење операције
 - Време трајања операције

Квантитативна зависност између делова и машина

$$M = [m_1, \dots, m_j, \dots, m_{NM}] \quad D$$
$$M_{DM} = \begin{bmatrix} t_{1,1} & \dots & t_{1,j} & \dots & t_{1,NM} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ t_{i,1} & \dots & t_{i,j} & \dots & t_{i,NM} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ t_{ND,1} & \dots & t_{ND,j} & \dots & t_{ND,NM} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} d_1 \\ \cdot \\ d_i \\ \cdot \\ d_{ND} \end{bmatrix}$$

M – вектор машина

D – вектор делова

t_{ij} – елемент матрице, има вредност 1 ако део “посећује” машину
0 ако део не “посећује машину”

Трансформисана матрица

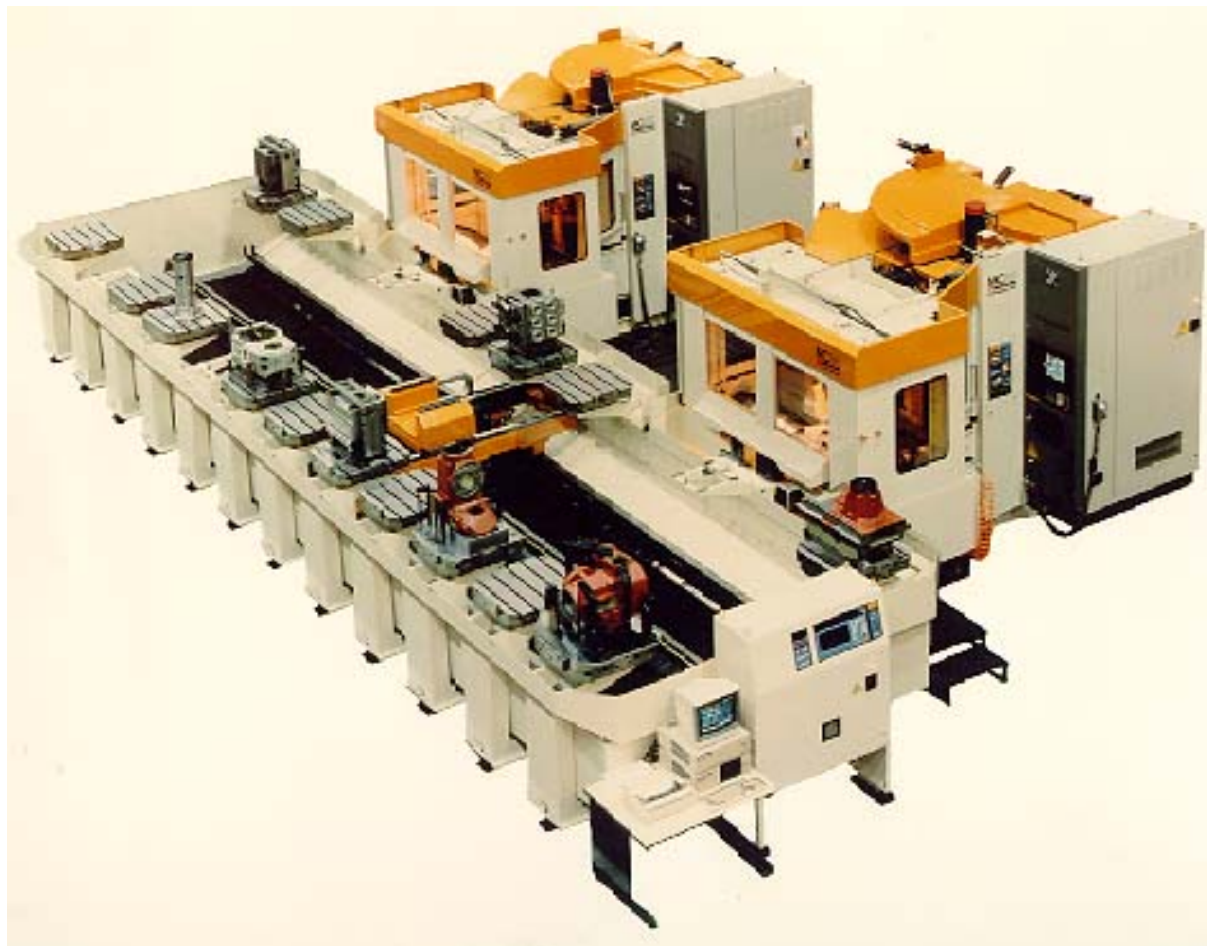
$$M = [M^1 \quad M^2 \quad \dots \quad M^K] \quad D$$
$$M_{DM} = \left[\begin{array}{cccc} \boxed{M_{DM}^1} & & & \\ & \boxed{M_{DM}^2} & & \\ & & 0 & \\ & & \cdot & \\ & 0 & & \\ & & & \cdot & \\ & & & & \boxed{M_{DM}^K} \end{array} \right] \quad \left[\begin{array}{c} D^1 \\ D^2 \\ \cdot \\ \cdot \\ D^K \end{array} \right]$$

M_{DM}^i – матрица ћелије

Напомене

- Конфигурисање машина у сродне групе је алтернатива функционалном распореду машина
- Групна конфигурација је најпогоднија за средње серијску производњу и средњу варијабилност производа

Флексибилни технолошки системи



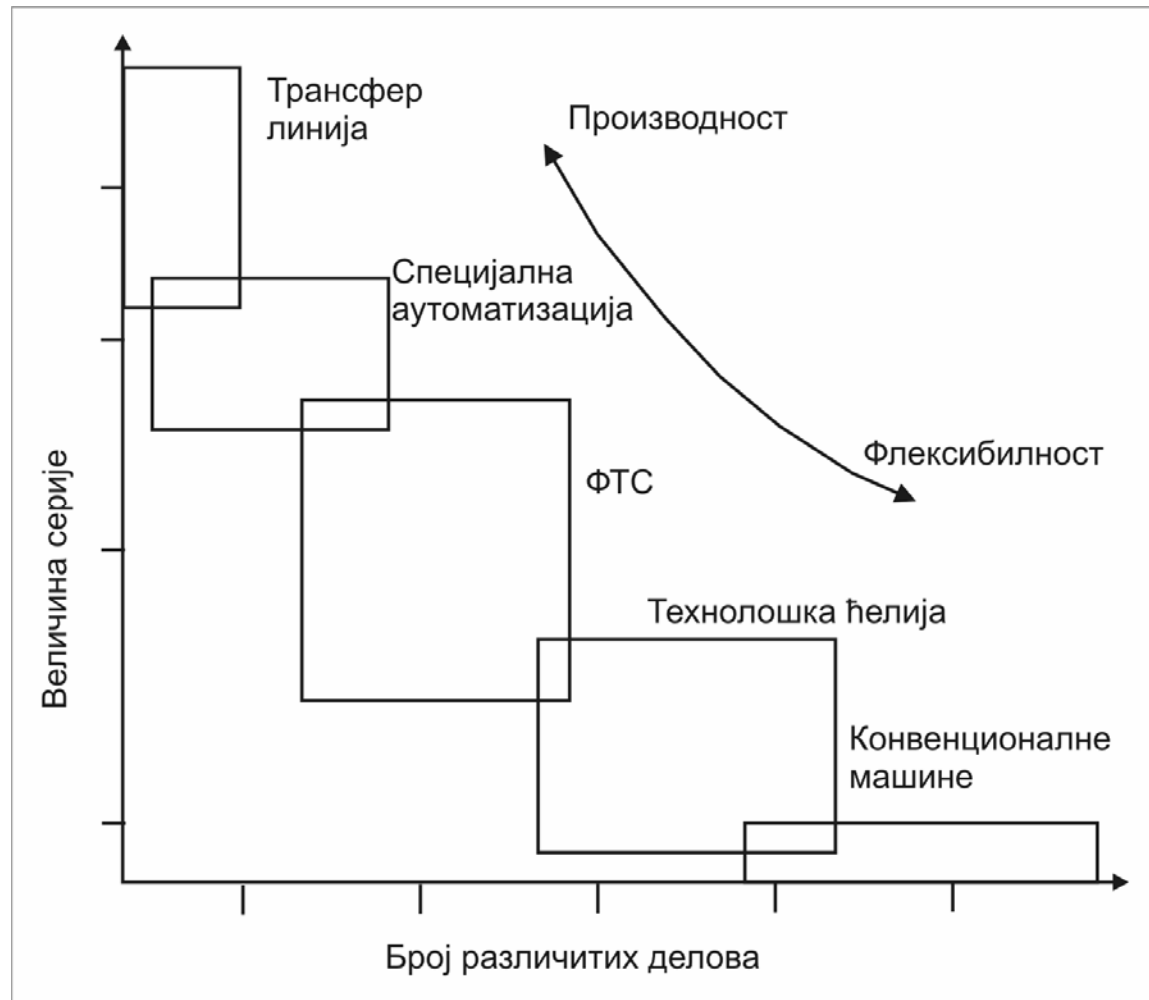
Дефиниција

- Флексибилни технолошки систем (ФТС или FMS) је скуп нумерички управљаних машина и станица за подршку повезаних аутоматизованим системом за руковање материјалом и управљаних централним компјутером

Флексибилни технолошки системи



Однос између флексибилности и производности



Флексибилни технолошки системи



Елементи ФТС

- Аутоматски репрограмабилне машине
- Аутоматизована допрема и измена алата
- Аутоматизовано руковање материјалом
- Коорднисано управљање

Особине ФТС

- Већи број типова делова може да се обрађује
- Делови могу било којим редоследом да долазе на машине
- Делови се идентификују преко кодова
- Многе машине се могу укључити у ФТС
- Мали ФТС иде ка флексибилној ћелији

Особине ФТС

- Скупи за имплементацију али доносе значајне уштеде
- Смањење потребног простора до 1/3
- Искоришћење опреме до 85%
- Није неопходно детаљно дефинисати редослед производње унапред

Особине ФТС

- Смањени трошкови и производно време воде ка повећању технолошке компететивности
- Могућност рада у три смене
- Лако се прелази на нове производе у случају потребе

Технолошка флексибилност

■ Основна

- **Машина** (разноликост операција)
- **Руковање материјалом** (мобилност делова и њихово постављање)
- **Операција** (могућност примене различитих технолошких поступака за исти део, алтернативни технолошки поступци)

Технолошка флексибилност

■ Систем

- **Процес** (Могућност производње различитих делова са истом припремом)
- **Рутирање** (Могућност обраде на више машина истог типа)
- **Производна флексибилност** (могућност промене производног програма без инвестирања)
- **Обим производње**
- **Могућност проширења капацитета**

Напомена

- Серије делова који се израђују у ФТС треба да буду довољно велике да би аутоматизација дошла до изражаја и са друге стране да буду мање од оних за које је исплативо правити технолошке системе оријентисане производу

Акроними

- **FMS**
- **NC**
- **CNC**
- **DNC**
- **AGV**
- **JIT**

ФТС приоритети

- Испуњење рокова
- Максимизирање искоришћења машина
- Минимизирање производног времена
- Минимизирање нивоа послова у току (WIP work in progress)

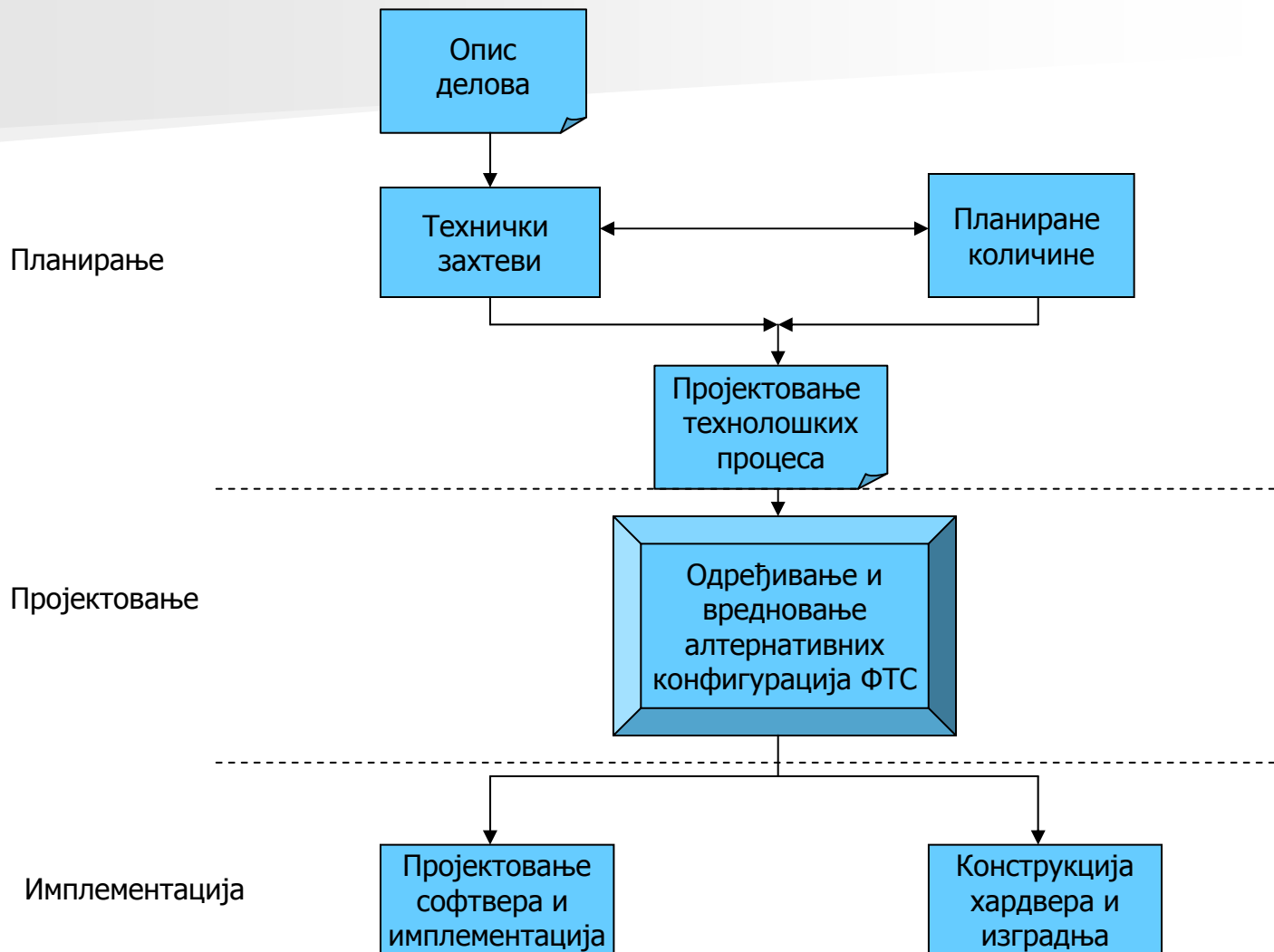
ФТС компоненте

- Машине
- Системи за руковање деловима
- Станице за подршку
- Контролер система

Карактеристике технолошког система

- Производно време (t)
- Производност (p)
- Производња у току (WIP)
- Степен искоришћења (η)
- Флексибилност

Процес планирања увођења ФТС



Проблеми у одлучивању при пројектовању ФТС

- Променљиве одлучивања
 - скуп делова који ће се производити
 - Типови делова
 - Величине серија
 - Редослед операција (руте, технолошки поступци)
 - Алтернативни технолошки поступци
 - Компоненте ФТС
 - Врста и број CNC машина
 - Врста и број припремних станица
 - Врста и број транспортних система за делове и алате
 - Врста и број бафера и складишних система
 - Врста и капацитет система за снабдевање алатима
 - Врста и број палета и стезних прибора
 - Layout
 - Врста компјутерског система и структура система за планирање и управљање
 - Број и квалификација персонала

Проблеми у одлучивању при пројектовању ФТС

■ Ограничења

- производност и величина инвестиције
- техничко технолошка ограничења
- просторна ограничења

Проблеми у одлучивању при пројектовању ФТС

■ Циљеви

- Већа прилагодљивост променама врсте производа и захтевима
- Ниски трошкови радне снаге
- Већи квалитет производа кроз прецизније поновљиве процесе
- Већа продуктивност кроз боље искоришћење процеса
- Ниже залихе у процесу

Функционални захтеви при пројектовању ФТС

При пројектовању ФТС потребе које исказује наручилац посла дају се у виду скупа компоненти (делова), које треба произвести, потребних количина појединих делова, рокова испоруке и сл. На основу овако исказаних потреба и на основу технологије израде делова могу се формирати функционални захтеви у облику:

FRs ($M_{typ}, T_{acc}, K_{rov}, G_{ab}, D_{eo_op}$) где је:

M_{typ} - врста обраде,

T_{acc} - тачност обраде,

K_{rov} - квалитет обрађене површине,

G_{ab} - габарит дела

D_{eo_op} - ознака дела и редни број операције

Функционални захтеви при пројектовању ФТС

Затим се врши удруживање сличних функционалних захтева тако да, у коначном облику, функционални захтеви имају облик:

FRs (M_тип, Tас, K_ров, Gab, Deo_op_L) где је:

Deo_op_L - листа парова део - операција.

Посебну категорију чине функционални захтеви који се односе на рокове испоруке и они имају облик:

FRs (Deo, D_dat) где је:

Deo - ознака дела,

D_dat - рок завршетка дела.

Параметри пројектовања

Параметри пројектовања, који се добијају пресликавањем функционалних параметара из функционалног простора у физички простор, се односе на избор машина и одређивање потребног броја машина и дати су у облику:

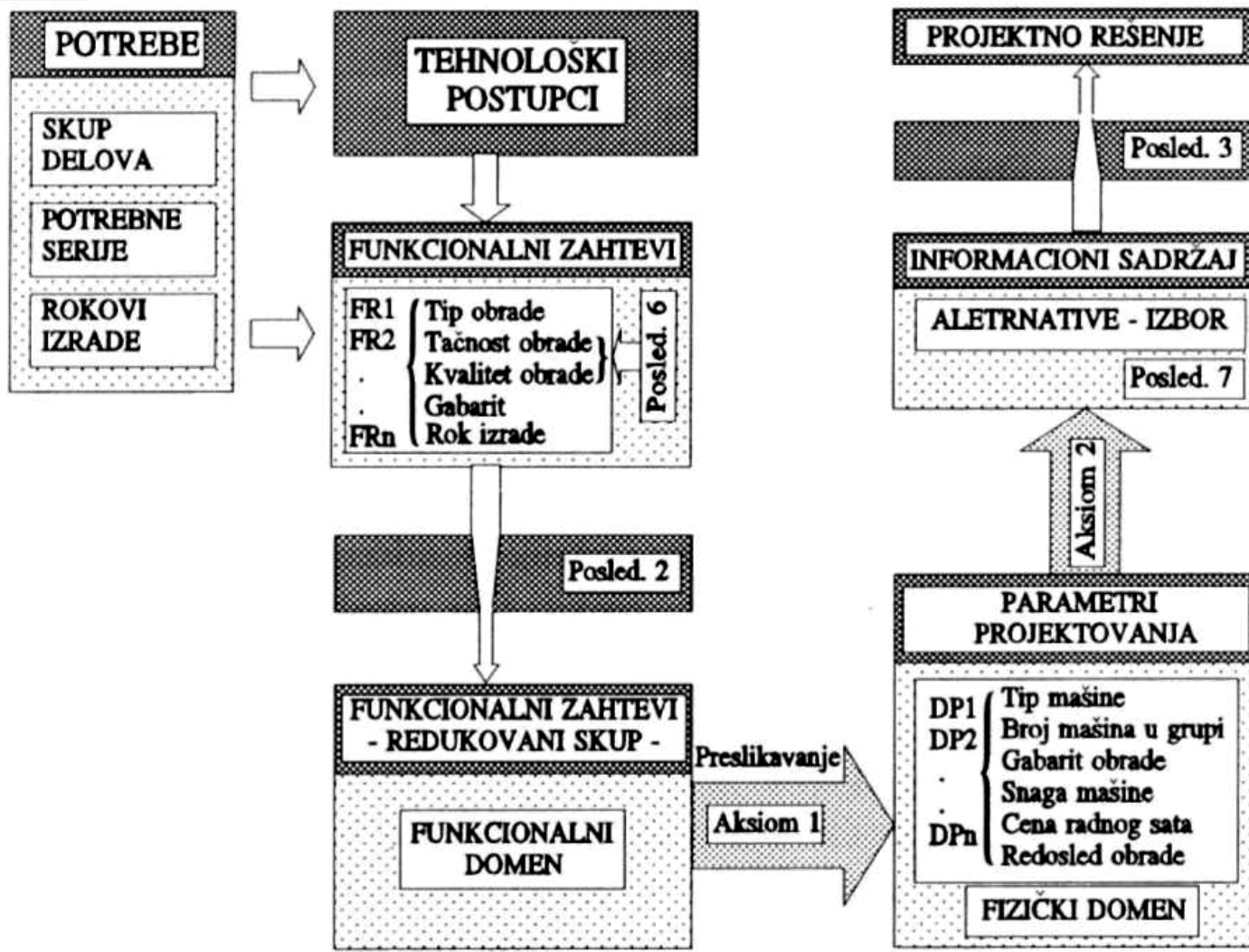
DPs (M, No ,M_tac, M_gab, P, Cph, M_Op_L) где је:

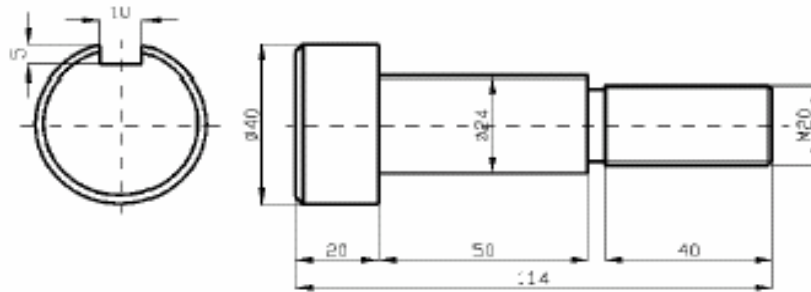
- | | |
|--------|--|
| M | - ознака машине, |
| No | - број машина у групи, |
| M_tac | - тачност машине, |
| M_gab | - максимална димензија обраде, |
| P | - снага машине, |
| Cph | - цена радног сата машине, |
| M_Op_L | - листа [део - операција] за машину (веза са функц. захт.) |

Пројектовање ФТС – Аксиом 2

- Примена Аксиома 2 и последице 7 (решење са мањим информационим садржајем)
- Коришћењем принципа минималног информационог садржаја у овој фази се одређује и редоследа обраде (терминирање - *scheduling*).

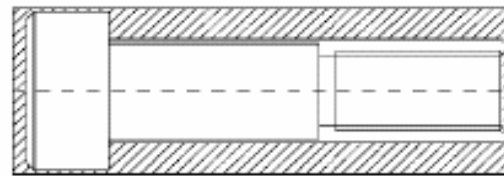
Аксиоматско пројектовање ФТС





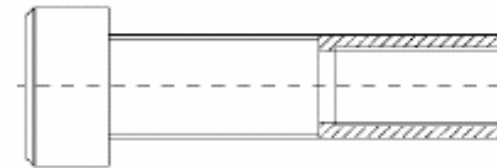
(a)

Surface group 1



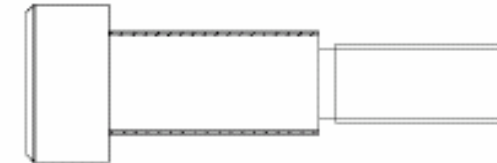
$\pm 0.1\text{mm}$
 $Ra = 6.3$
 $Tm = 1.29 \div 1.55 \text{ min}$

Surface group 2



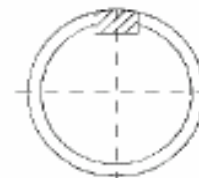
$\pm 0.1\text{mm}$
 $Ra = 6.3$
 $Tm = 1.29 \div 1.55 \text{ min}$

Surface group 3



$\pm 0.01\text{mm}$
 $Ra = 0.8$
 $Tm = 0.9 \div 1.1 \text{ min (turning)}$
 $Tm = 1.0 \div 1.2 \text{ min (grinding)}$

Surface group 4



$\pm 0.1\text{mm}$
 $Ra = 6.3$
 $Tm = 0.5 \div 0.6 \text{ min}$

Подаци о машинама

Machine ID	Machine type	Max precision (mm)	Best surface roughness (μm)	Efficiency	Labour & depreciation rate (\$/hour)
1	Cylindrical grinding machine	0.0025	0.5	0.65	80
2	Vertical milling machine	0.04	1.2	0.60	60
3	Horizontal milling machine	0.04	1.4	0.60	55
4	Lathe	0.02	4.0	0.70	60
5	High precision lathe	0.01	2.0	0.75	75

Пројектни опсези дела

Surface group	Tolerance (mm)	Surface roughness (μm)	
		Lower	Upper
1	0.2	0	6.3
2	0.2	0	6.3
3	0.02	0	0.8
4	0.2	0	1.6

Израчунати информациони садржај за машине

Surface group	Candidate machines	I_{acc}	I_R	I_{cap}	I_c	I
1	{4	0.925	0	4.87	0.062	5.857†
	{5	0.963	0	4.97	3.22	9.153
2	{4	0.925	0	5.97	0.061	6.956†
	{5	0.963	0	6.07	3.22	10.253
3	{1	0.907	0	5.13	3.83	9.867
	{4	∞	-	-	-	∞
	{5	0.584	2.41	5.49	0	8.484†
4	{2	0.848	0	6.07	0.156	7.074
	{3	0.848	0	6.07	0	6.918†

Пример 2 – Идејни пројекат ФТС за производњу пумпи за рударску

Naziv dela	Redosled obrade Vreme obrade (h) / mašina
Izlazno vratilo	STRUG VBG BRUS. STRUG HBG 7.6 2.0 1.5 1.0 0.6
Nosач лежaja 1	STRUG HBG 1.0 2.0
Nosач лежaja 2	STRUG HBG 2.0 1.0
Kolo	STRUG HBG 17.0 30.0
Nosач лежaja 3	STRUG HBG 3.0 1.0
Ulazno vratilo	STRUG HBG STRUG VBG HBG BRUS. 6.0 1.0 2.0 2.0 1.0 1.5
Prednji nosач	STRUG VBG HBG 2.5 1.0 1.5
Zadnji nosач	STRUG HBG STRUG HBG STRUG HBG 1.0 2.5 4.5 1.0 1.0 9.0
Donje kućište	STRUG HBG VBG HBG 1.0 20.0 2.0 3.5
Gornje kućište	STRUG VBG HBG 1.0 1.0 20.0
Kućište spojnice	HBG HBG HBG 6.0 4.0 7.0
Nosач el. pumpe	HBG STRUG STRUG HBG STRUG VBG HBG

Предвиђене машине

Ozn	Tip mašine	Potrebno iskorišćenje	
		min	max
M1	NC strug MD5	0.70	0.90
M2	NC strug MD7	0.70	0.90
M3	NC brusilicaC12	-	-
M4	Vert. obradni centar VBG 50	0.50	-
M5	Hor. obradni centar HBG 80	0.70	0.90
M6	Hor. obradni centar HBG 120	0.70	0.90

Пројектно решење

Iter br.	Iskorišć. mašine / br. mašina u konflg.							Prozv. proiz/ god.
	M1	M2	M3	M4	M5	M6	AG V	
0	1 99	1 96	1 8	1 20	1 94	1 95	7	30
1	2 78	2 63	1 12	1 27	1 98	1 95	9	41
2	2 76	2 64	1 11	1 34	2 97	1 98	10	53
3	2 79	2 73	1 14	1 41	3 97	2 96	15	82
4	2 83	2 80	1 17	1 46	4 90	3 96	16	100
5	2 85	2 80	1 18	1 47	4 94	4 82	17	117

Модели технолошких система

- Физички модели
- Аналитички модели
- Симулациони модели
- Хибридни модели

Сврха моделирања

- Помоћ унапређењу пројектовања технолошког система
- Помоћ предвиђању перформанси технолошког система
- **Напомена: добро моделирање захтева добре податке!**

Примена модела

- Оптимизација
- Предвиђање перформанси
- Управљање
- Маркетинг

Развој модела

- Дефинисање проблема
- Одређивање релевантних утицајних фактора
- Изградња модела
- Верификација
- Вредновање

Симулација технолошких система

- Одређивање потребних количина опреме и људи
 - Број и тип машина за одређену намену
 - Број, тип и физички распоред транспортера, конвејера и друге пратеће опреме
 - Локација и величина бафера
 - Вредновање промене обима производње и комбинације производа
 - Вредновање ефекта додавање новог комада опреме у постојећи систем
 - Планирање потребног броја опслужилаца

Симулација технолошких система

- **Оцена перформанси**
 - Анализа проточности
 - Анализа укупног времена задржавања у систему
 - Анализа уских грла
- **Вредновање оперативних процедура**
 - Терминирање производње
 - Политика залиха
 - Стратегије управљања (нпр. AGV)
 - Анализа поузданости (превентивно одржавање)

Мере перформанси – резултат симулације

- Пропусна моћ
- Време проведено у систему по деловима
- Време које делови проводе у редовима
- Величина редова
- Временске линије испоруке
- Искоришћење опреме