

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ

МАШИНСКИ ФАКУЛТЕТ

Јелена Р. Јовановић

**ИСТРАЖИВАЊЕ ПРОЦЕСА  
УПРАВЉАЊА ПРОИЗВОДНИМ  
ЦИКЛУСОМ СЛОЖЕНОГ ПРОИЗВОДА**

докторска дисертација

Београд, 2015.

UNIVERSITY OF BELGRADE  
FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

Jelena R. Jovanović

**INVESTIGATION OF THE PRODUCTION  
CYCLE MANAGEMENT PROCESS  
OF A COMPLEX PRODUCT**

Doctoral Dissertation

Belgrade, 2015.

**Комисија за преглед и одбрану:**

**Ментор:** **др Драган Д. Милановић, редовни професор,**  
Универзитет у Београду, Машински факултет

**Чланови Комисије:** **др Драган Љ. Милановић, ванредни професор,**  
Универзитет у Београду, Машински факултет

**др Весна Спасојевић-Бркић, ванредни професор,**  
Универзитет у Београду, Машински факултет

**др Мирјана Мисита, ванредни професор,**  
Универзитет у Београду, Машински факултет

**др Живослав Адамовић, редовни професор,**  
Универзитет у Новом Саду, Технички факултет, Зрењанин

**Датум одбране:** 2015.

*Захваљујем се члановима моје породице који су ми пружили несебичну подршку и помоћ у свим фазама мог досадашњег стручног усавршавања.*

*Користим прилику и да се захвалим свим појединцима, који су директно или индиректно помогли и подржали овај истраживачки пројекат, кроз захвалност институцијама којима припадају:*

- Машинском факултету у Београду*
- Компанији Слобода у Чачку*
- Високој школи техничких струковних студија у Чачку*

*Београд, 2015.*

*Јелена Јовановић*

# **Истраживање процеса управљања производним циклусом сложеног производа**

## **Резиме**

У раду је приказано истраживање процеса управљања производним циклусом сложеног производа и дати су одговори на питања и дилеме који су актуелни у научној и стручној јавности дужи низ година.

Анализом научних и стручних достигнућа уочене су недоумице, нејасноће и отворена питања везана за теорију производних циклуса. На основу тога дефинисана је истраживачка платформа, полазне хипотезе, план истраживања и структура дисертације. Са једне стране, наметнуло се питање валидности постојећих решења, релација и модела, а са друге стране, истраживање нових и њихова провера у пракси.

У фокусу истраживања налази се сложен производ који представља генератор свих збивања унутар и изван пословно-производних система. Развијени су теоријски модели за опис структуре сложеног производа који представљају основу за дефинисање осталих модела: за прорачун количина производних фаза; оптимизацију производне серије; прорачун технолошких и пројектовање производних циклуса на нивоу технолошке операције, производне фазе и сложеног производа; ангажовање обртних средстава и процену квалитета пројектованих решења помоћу одговарајућих показатеља проточности.

Експериментални део истраживања спроведен је у Компанији "Слобода" Чачак где су верификовани сви развијени модели и софтверска решења у условима серијске понављајуће производње са прекидним током технолошког процеса. Производњу карактерише глобализација пословања, велики број сложених производа, разноврсне технологије и опрема, вишеваријантна технолошка решења и уградња истих делова у више различитих производа.

Корист од истраживања је вишеструка, како у теоријском тако и у практичном смислу, јер је омогућена примена теоријских модела у разноврсним условима производње и пословања. Актуелност, ширина и значај теме као и постигнути резултати дају добру основу за даља истраживања у овој области.

**Кључне речи:** производни циклус, сложен производ, модели, пројектовање, оптимизација, трајање циклуса, обртна средства, показатељи проточности материјала

**Научна област:** Машинство

**Ужа научна област:** Индустијско инжењерство

**УДК:** 658.51(043.3)

# **Investigation of the production cycle management process of a complex product**

## **Abstract**

The work presents the investigation of the production cycle management process of a complex product, providing answers to the questions and dilemmas that have been current in professional community for a number of years.

The analysis of scientific and professional achievements pointed to the doubts, uncertainties and open issues related to the theory of production cycles. Using those findings, the investigation platform, starting hypotheses, plan of investigation and doctoral dissertation structure were all defined. On one hand, the question of the validity of existing solutions, relations and models was raised and, on the other hand, the investigation of new ones and their testing in practice.

The focus of investigation is a complex product representing the generator of all activities inside and outside of the business-production systems. Theoretical models were developed for describing the complex product structure, generating the basis for defining the other models: for calculating the amount of production cycles, production batch optimization, calculating technological and production cycle design at the level of technological operations, production cycle and complex product; engagement of working capitals and evaluation of designed solutions using the corresponding flow indicators.

The experimental part of the investigation was conducted at “Sloboda” Company Čačak, where all developed models and software solutions were verified under conditions of series, repeating production with an interrupting technological process flow. Production is characterized by the globalization of operating business, a large number of complex products, a variety of technologies and equipment, multi-variety technological solutions and installment of the same parts into a number of different products.

The benefit of this investigation is multiple, in both theoretical and practical respect, because the application of theoretical models is enabled in various production and business operating conditions. Actuality, breadth and significance of the theme as well as the achieved results provide a solid basis for further investigations in this area.

**Key words:** production cycle, complex product, models, design, optimization, production cycle time, working capitals, material flow indicators

**Scientific discipline:** Mechanical Engineering

**Scientific subdiscipline:** Industrial Engineering

**UDC:** 658.51(043.3)

## САДРЖАЈ

### НОМЕНКЛАТУРА

1. УВОДНА РАЗМАТРАЊА.....	1
1.1 Приступи при истраживању тока материјала.....	3
1.2 Преглед важнијих научних и стручних истраживања са резултатима.....	9
1.3 Анализа претходних истраживања са коментарима.....	12
1.3.1 Анализа истраживања у СССР-у и Русији.....	12
1.3.2 Анализа истраживања у СФРЈ и Србији.....	17
1.3.3 Анализа осталих истраживања.....	30
1.4 Закључци претходних истраживања.....	32
2. ПРЕДМЕТ И НАУЧНИ ЦИЉ ДОКТОРСKE ДИСЕРТАЦИЈЕ.....	35
2.1 Предмет и циљ истраживања.....	35
2.2 Опсег, значај и методе истраживања.....	37
2.3 Полазне хипотезе и очекивани научни допринос.....	39
2.4 План истраживања и структура дисертације.....	40
3. ТЕОРИЈСКА РАЗМАТРАЊА И РАЗВИЈАЊЕ МОДЕЛА.....	42
3.1 Основни појмови и утицајни елементи на производни циклус.....	43
3.1.1 Принципи, типови и карактеристике производње.....	45
3.1.2 Појам, структура и врсте производног циклуса.....	50
3.2 Модели за опис сложеног производа.....	53
3.2.1 Основе теорије графова.....	54
3.2.2 Моделовање структуре сложеног производа.....	65
3.3 Модели за прорачун количина производних фаза.....	80
3.4 Модели за оптимизацију производне серије.....	86
3.4.1 Приступи и ограничења при моделовању.....	87
3.4.2 Оптимизација производне серије сложеног производа.....	93
3.5 Модели за прорачун технолошких циклуса.....	103
3.5.1 Технолошки циклус операције и производне фазе.....	105
3.5.1.1 Провера валидности постојећих и истраживање нових формула.....	106
3.5.1.2 Односи између технолошких циклуса.....	115
3.5.1.3 Утицај осталих фактора на трајање технолошког циклуса.....	122

3.5.2	Технолошки циклус сложеног производа .....	126
3.6	Модел за пројектовање производних циклуса .....	138
3.6.1	Пројектовање временске димензије операције и производне фазе .....	140
3.6.2	Пројектовање временске димензије сложеног производа .....	151
3.7	Ангажовање средстава у производном циклусу .....	162
3.8	Показатељи проточности материјала у производном циклусу .....	167
4.	ПРИМЕНА ТЕОРИЈСКИХ МОДЕЛА СА РЕЗУЛТАТИМА .....	171
4.1	Карактеристике производње и избор производа репрезентанта .....	171
4.2	План експерименталних истраживања .....	180
4.3	Структура РС-а и дизајн производа репрезентаната .....	182
4.4	Резултати друге фазе експерименталних истраживања .....	198
4.4.1	Примена модела за оптимизацију и планирање .....	198
4.4.2	Прорачун технолошког и утврђивање стварног циклуса .....	204
4.5	Резултати треће фазе експерименталних истраживања .....	212
4.5.1	Квантификација утицајних параметара на пројектовање РС-а .....	212
4.5.2	Примена модела за пројектовање и управљање РС-ма .....	219
4.5.3	Функције ангажовања обртних средстава у РС-у .....	233
5.	ЗАКЉУЧЦИ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ .....	239
5.1	Закључци у вези претходних истраживања .....	239
5.2	Закључци везани за дефиницију и структуру РС-а .....	241
5.3	Закључци о развијеним моделима за опис SP-а .....	241
5.4	Закључци о развијеним моделима за оптимизацију производне серије SP-а и прорачун количина PF-а .....	242
5.5	Закључци о развијеним моделима за прорачун TC-а .....	243
5.6	Закључци о развијеним моделима за пројектовање РС-а .....	245
5.7	Закључци о техно-економским показатељима проточности материјала ...	246
5.8	Закључци који се односе на верификацију развијених модела .....	247
5.9	Практична корист и ограничења спроведеног истраживања .....	251
5.10	Предлог даљих истраживања .....	251
	ЛИТЕРАТУРА .....	252
	ПРИЛОЗИ .....	264
	БИОГРАФИЈА .....	303



## НОМЕНКЛАТУРА

---

<i>Скраћеница</i>	<i>Значење</i>
<i>AFT</i>	апсолутно фиксни трошкови
<i>ARFT</i>	апсолутно фиксна компонента <i>RFT</i>
<i>BL</i>	пословна логистика
<i>БНП</i>	брuto национални производ
<i>CNC</i>	компјутерско-нумеричко управљање
<i>CPM</i>	метода критичног пута
<i>EPF</i>	елементарне производне фазе
<i>FMP</i>	производна целина за завршну монтажу и паковање
<i>HRM</i>	управљање људским ресурсима
<i>IL</i>	индустријска логистика
<i>IS</i>	информациони систем
<i>JIT</i>	тачно на време
<i>JPPL</i>	једнопредметна проточна производна линија
<i>KPL</i>	континуална проточна линија
<i>KPR</i>	кретање предмета рада
<i>L</i>	логистика
<i>LP</i>	линеарно програмирање
<i>LM</i>	линовативни менаџмент
<i>MD</i>	производне целине за монтажу делова
<i>ML</i>	маркетиншка логистика
<i>MM</i>	управљање са материјалима
<i>MP</i>	малопродајни објекти
<i>MRP</i>	планирање потребних материјала
<i>MRP II</i>	планирање производних ресурса
<i>MTZ</i>	метода тренутних запажања
<i>NP</i>	непроточна производња
<i>O</i>	окружење
<i>OPS</i>	оптимална производна серија
<i>ORP</i>	остварена робна производња
<i>P</i>	потрошачи
<i>PC</i>	производни циклус
<i>PCM</i>	контрола у производњи
<i>PDCA</i>	планирати-урадити-проверити-деловати
<i>PDM</i>	управљање физичком дистрибуцијом
<i>PDM</i>	метода "првенства" (претхођења)
<i>PE</i>	производне целине за производњу елемената
<i>PERT</i>	техника за оцену и ревизију пројекта
<i>PF</i>	производна фаза
<i>PLJR</i>	производни људски ресурси
<i>PP</i>	производни процес
<i>PPL</i>	прекидна проточна линија
<i>PPS</i>	пословно-производни систем
<i>PR</i>	продаја
<i>PRFT</i>	пропорционална компонента <i>RFT</i>
<i>PS</i>	производни систем

---

<b>Скраћеница</b>	<b>Значење</b>
<i>PT</i>	пропорционални трошкови
<i>R</i>	рохрематологија
<i>RFT</i>	релативно фиксни трошкови
<i>RN</i>	радни налог
<i>SD</i>	складиште добављача
<i>SDK</i>	складиште делова из кооперације
<i>SE</i>	складиште елемената
<i>SFP</i>	складиште финалних производа
<i>SM</i>	складишта материјала
<i>SMED</i>	замена радних инструмената за једноцифрен број минута
<i>SN</i>	снабдевање са сировином, полуфабр., деловима из коопер.
<i>SP</i>	сложен производ
<i>SPF</i>	сложене производне фазе
<i>SPPS</i>	сложен пословно-производни систем
<i>SSD</i>	складиште сложених делова
<i>SVP</i>	складиште велепродаје
САД	Сједињене Америчке Државе
СССР	Савез Совјетских Социјалистичких Република
СФРЈ	Социјалистичка Федеративна Република Југославија
<i>TC</i>	трајање технолошког циклуса
<i>TK</i>	термин карта
<i>TMP</i>	техника мрежног планирања
<i>TO</i>	технолошка операција
<i>TPC</i>	теорија производних циклуса
<i>TPM</i>	тотално продуктивно одржавање
<i>TQM</i>	тотално управљање квалитетом
<i>VPPL</i>	вишепредметна проточна производна линија
<i>VTM</i>	време тока материјала
<b>Ознака</b>	<b>Значење</b>
<i>A</i>	узрочник застоја - недостаје алат
<i>A</i>	матрица суседства чворова графа
$A, A^{(os)}, A^{(ob)}$	укупне суме ангажованих, основних и обртних средстава
$A^{(v)}$	планирана сума обртних средстава
$a_i^{(v)}, a_j^{(v)}$	функције ангажовања обртних средстава на нивоу <i>TO</i> -е и <i>PF</i> -е
$a_j$	појединачне масе ангажованих средстава
$A_j$	сума ангажованих средстава до <i>j</i> -тог тренутка
$a_j^{(ob)}$	појединачне вредности ангажованих обртних средстава
$A_l$	матрица грана
$A_p, A_p^{(os)}, A_p^{(ob)}$	просечне масе ангажованих, основних и обртних средстава
$A_u$	следбеник чвора <i>u</i>
$a_{uv}$	елементи матрице суседства чворова графа
$B_k$	укупан број карактеристичних путева $P_k$ у графу <i>SP</i> -а

<b>Ознака</b>	<b>Значење</b>
$B_{pf}$	укупан број производних фаза
$B_{pf}^{(e)}$	број елементарних производних фаза
$B_{pf}^{(s)}$	број сложених производних фаза
$B_{tp}$	број технолошких поступака (процеса)
$B_u$	претходник чвора $u$
$\beta$	кофицијент који узима у обзир степен реализације $RN$
$C$	укупни остварени трошкови (расходи) $PPS$ -а, на годишњем нивоу, у зависности од реализоване производње $\sum N\check{C}$
$c_1$	променљиви трошкови по јединици $SP$ -а у јединици времена
$c_i$	број радних места по операцијама
$C_k$	цена коштања
$C_{mj}$	цена по јединици мере $j$ - те врсте основног материјала
$C_o$	фиксни трошкови по производној серији
$C_s$	ефективни часови рада у смени $e\check{c}/sm$
$C_{si}$	пројектовано коришћење радног времена у смени
$\check{C}$	узрочник застоја - недостаје извршилац
$D(G)$	дијаметар (периферија) графа $G$
$d(p, k)$	растојање између почетног $p$ и завршног $k$ чвора пута $P_{p,k}$
$d(u)$	степен чвора $u$
$d^-(u)$	полустепен улазећих грана чвора $u$
$d^+(u)$	полустепен излазећих грана чвора $u$
$\delta$	параметар који показује однос календарских и радних дана
$\delta(G)$	најмањи степен чвора графа $G$
$\Delta(G)$	највећи степен чвора графа $G$
$\Delta r_i$	временска резерва између технолошких операција
$\Delta \tau_i$	пројектовани парцијални губици по операцији
$\Delta T_j$	усвојени међуфазни губици између $PF$ -а $SP$ -а
$D_k$	укупан број календарских дана $[kd]$
$D_r$	укупан број радних дана $[rd]$
$E$	скуп грана графа
$E_C$	скуп грана које ограничавају подскуп чворова $C$
$E_C^-$	гране које улазе у подскуп чворова $C$
$E_C^+$	гране које излазе из подскупа чворова $C$
$ecc(u)$	ексцентрицитет чвора $u$
$\varepsilon$	просечни губици у циклусу по $TO$
$\eta_m$	степен коришћења машинских капацитета
$\eta_r$	степен коришћења производних људских ресурса

<b>Ознака</b>	<b>Значење</b>
$F(x)$	функција укупних трошкова поруџбине у зависности од величине производне серије $SP$ -а
$F_1(x)$	функција укупних фиксних трошкова по поруџбини
$f_1(x)$	функција фиксних трошкова по производној серији
$F_2(x)$	функција укупних променљивих трошкова по поруџбини
$f_2(x)$	функција променљивих трошкова по производној серији
$F_\alpha$	параметар који узима вредност 1 или 0
$F_{nc}$	расположиви фонд норма часова по раднику
$G$	ознака графа
$G_{cp}, g_{cp}$	пројектовани губици у циклусу
$G_{cs}, g_{cs}$	укупни губици у циклусу
$g_i$	парцијални губици машинских капацитета по узрочнику застоја $i$
$g_m$	укупни губици машинских капацитета
$H$	параметар за превођење временских јединица
$I$	узрочник застоја - чека део са претходне операције
$I_j$	индикатор трајања суседних операција
$K$	узрочник застоја - квар машине
$K$	комбиновано кретање предмета рада
$k_{mo}$	кофицијент међуоперацијских застоја
$KP$	најкаснији почетак активности ( $PF$ -е)
$k_{pj}, K_p$	кофицијент протока, на нивоу $PF$ -а и $SP$ -а, који је настао као последица пројектованог начина производње
$K_s$	кофицијент серијности
$\xi_r$	кофицијент прековременог ангажовања производних радника
$k_{ti}, K_t$	кофицијент протока, на нивоу $PF$ -а и $SP$ -а, који је у функцији технолошког циклуса
$k_{uo}$	кофицијент унутароперацијских застоја
$KZ$	најкаснији завршетак активности ( $PF$ -е)
$l_{i,j}$	оријентисан лук у графу где је $i$ - почетни а $j$ - завршни чвор
$l_u$	листа суседства чворова
$M$	узрочник застоја - недостаје материјал
$m_i$	количина $PF$ -е која се по нормативу уграђује у финални производ
$\mu_i$	параметар који узима у обзир степен коришћења произ. капацитета
$\mu_m$	пројектован степен коришћења машинских капацитета
$\mu_r$	пројектован степен коришћења производних радника
$n$	укупан број технолошких операција
$n$	укупан број опажања
$n(+)$	број опажања када машина ради
$n_i$	количина $PF$ која се по нормативу уграђује у први надређени ниво
$n_i(-)$	број опажања када машина не ради по узрочнику застоја ( $i$ )
$n_{uk,1}$	број $TO$ свих $PF$ -а које дефинишу критичан пут у графу

<b>Ознака</b>	<b>Значење</b>
$n_{u,v,1}$	број $TO$ свих $PF$ -а које дефинишу карак. пут у графу $P_{v,1}$
$N$	максималан број нивоа у графу $SP$ -а
$N$	укупан број производних серија
$N(u)$	околина чвора $u$ графа $G$
$N\check{C}$	норма часови
$N_{k,1}$	број нивоа ( $PF$ -а) на критичном путу
$N_o$	укупан број технолошких операција
$N_p$	однос између производне серије и партије
$NR$	независна временска резерва
$N_{v,1}$	број нивоа у оквиру карактеристичних путева у графу $SP$ -а
$O_s$	узрочник застоја - остали разлози
$P$	производни програм фабрике
$P$	паралелно кретање предмета рада
$p$	величина производно-транспортне партије
$p(t)$	функција парцијалног ангажовања обртних средстава
$P_e$	прековремено ангажовање радника
$P_i$	матрица инциденције улазних лукова графа $G$
$P_i$	тренутак почетка производње $TO$
$P'_i$	транспонована матрица матрице $P_i$
$P_k$	карактеристични путеви у оријентисаном графу у облику стабла
$p_{n_i}$	кофицијент извршења норме
$P_{p,k}$	пут графа
$PP\Delta T_{j+1}$	тип везе који условљава почетак посматране активности ( $j+1$ ) у односу на почетак претходне ( $j$ ), за вредност $\Delta T_{j+1}$
$p_{\tau_{uo}}^{(o,p)}$	процентуални износ укупних технолошких међуоперацијских застоја у односу на збир $TC$ -а операција по $P$ начину $KPR$
$p_{\tau_{uo}}^{(p)}$	процентуални износ укупних технолошких међуоперацијских застоја у односу на трајање $TC$ -а $PF$ -е по $P$ начину $KPR$
$p_{\tau_{uo}}^{(u)}$	процентуални износ укупних технолошких међуоперацијских застоја у односу на трајање $TC$ -а $PF$ -е по $U$ начину $KPR$
$q$	величина производне серије
$g_c, G_c$	губици у циклусу $PF$ -е односно $SP$ -а
$Q$	количина сложеног производа
$q_{i,j,\dots,m}$	количина $PF$ -е која улази у састав сложеног производа $X_i$
$q_{i,j}^{(m)}, q_{i,j}^{(rn)}$	залихе у недовршеној производњи (складишту и радним налозима)
$q_j^{(\beta)}, p_j^{(\beta)}$	количина производне серије и партије која се односи на $j$ -ту $PF$ -у и технолошку операцију $\beta \in (1, n_{u,v,1})$
$q_{s_i}$	капацитет у смени
$Q_\tau$	планирана количина производа у временском периоду $\tau$

<b>Ознака</b>	<b>Значење</b>
$r$	укупна временска резерва
$r(G)$	радијус (центар) графа $G$
$r_i$	пројектован број радних места у оквиру $TO$
$RP$	најранији почетак активности ( $PF$ -е)
$R_u$	укупан број радних места на којима се тех. операције извршавају
$RZ$	најранији завршетак активности ( $PF$ -е)
$S$	матрица инциденције лукова графа $G$
$S^{(ob)}, S^{(os)}$	укупне масе ангажованих обртних и основних средстава у процесу репродукције
$S^{(v)}, A_p^{(v)}$	укупна и просечна маса обртних средстава ангажована у $PC$ -у $SP$ -а
$S_d$	број радних смена у дану [ $sm/rd$ ]
$S_{d_i}$	пројектован број смена у радном дану
$S_{i,j}$	норматив $j$ - те врсте основног материјала дефинисан на нивоу $SP$ -а
$\check{s}_{i,j,k}$	губици у процесу производње по основу квалитета
$T$	период тражње (рок испоруке поручбине)
$t$	период између две суседне производне серије $SP$ -а
$t$	укупно пројектовано време по $TO$
$\tau$	временски период у коме се извршавају технолошке операције
$\tau_i$	пројектовано трајање циклуса операције
$\tau_{uo_i}$	укупни технолошки унутароперацијски застоји
$\tau_{uo}^{(pf)}$	укупни технолошки унутароперацијски застоји на нивоу $PF$ -е
$t_\beta$	скуп технолошких операција свих $PF$ -а које дефинишу каракт. пут
$t_\beta^{(j)}$	трајање $TO$ која истовремено припада $j$ -тој $PF$ и подграфу
$t_c$	очекивано трајање циклуса
$T_{ci}, t_{ci}$	идеалан производни циклус $SP$ односно $PF$
$T_{cp}, t_{cp}$	пројектовани циклус производње $SP$ -а односно $PF$ -е
$t_{cpj} \equiv T_j$	пројектоване вредности циклуса $PF$ -а
$t_{cs}, T_{cs}$	трајање производног циклуса $PF$ -е односно $SP$ -а
$T_{cs}, t_{cs}$	стварно трајање циклуса производње $SP$ односно $PF$
$t_d$	допунско време
$T_e$	ефективан фонд часова рада опреме
$T_G$	обрачунски период од једне године
$t_i$	нормирано време операције
$t_i^{(j)}, i = \overline{1, n_j}$	низ $TO$ пројектованих за израду $j$ - те $PF$ -е
$t_{iz}$	време израде
$T_j$	периоди блокаде појединачних вредности ангажованих средстава
$t_k$	време по комаду $SP$ -а

<b>Ознака</b>	<b>Значење</b>
$t_{ko}$	време контроле
$T_m$	укупни трошкови директног материјала
$T_{mj}$	укупни трошкови директног материјала $j$ - те $PF$ -е
$t_{mo}, T_{mo}$	трајање мађуоперацијских застоја
$t_n$	временска норма $SP$ -а
$T_o$	укупни остали трошкови (фиксни и релативно фиксни)
$T_{oc}$	укупни остали фиксни трошкови
$t_{oi}$	трајање технолошке операције
$T_{ov}$	укупни остали варијабилни трошкови
$t_{pi}$	пројектовано трајање циклуса операције увећано за $\Delta\tau_i$
$t_{pp}$	време природних процеса
$T_{ppj}$	време природних процеса $j$ - те $PF$ -е
$T_{pz}$	укупно припремно - завршно време $SP$ -а
$t_{pz}$	припремно-завршно време
$T_{pzj}$	припремно-завршно време $j$ - те $PF$ -е
$T_{pz\beta}, T_{pp\beta}$	припремно-завршно време и време природних процеса $TO$
$T_r$	укупни трошкови директног рада
$t_r$	време по комаду $r$ - те производне фазе $SP$ -а
$t_t, T_t$	трајање технолошког циклуса $PF$ -е односно $SP$ -а
$t_i^{(o)}$	трајање технолошког циклуса операције
$t_i^{(o,u)}, t_i^{(o,k)}, t_i^{(o,p)}$	$TC$ операција по $U, K$ и $P$ начину $KPR$
$t_{ij}^{(u)}, t_{ij}^{(p)}, t_{ij}^{(k)}$	трајање $TC$ -а $PF$ -е, у зависности од начина $KPR$ , која се налази на $j$ - том нивоу подграфа који је дефинисан карактеристичним путем $TC$ најдуже ( $k$ -те) технолошке операције
$t_k^{(o,p)}$	
$t_t^{(k)}, T_t^{(k)}$	трајање технолошког циклуса по $K$ начину $KPR PF$ -е, $SP$ -а
$t_t^{(p)}, T_t^{(p)}$	трајање технолошког циклуса по $P$ начину $KPR PF$ -е, $SP$ -а
$t_{tr}$	време транспорта
$t_t^{(u)}, T_t^{(u)}$	трајање технолошког циклуса по $U$ начину $KPR PF$ -е, $SP$ -а
$T_{t_{v,1}}$	$TC$ -и подграфа који су детерминисани карактеристичним путевима супротно оријентисаном графу технол. структуре $SP$ -а
$T_{t_{v,1}}^{(u)}, T_{t_{v,1}}^{(p)}, T_{t_{v,1}}^{(k)}$	трајање $TC$ -а подграфа $P_{v,1}$ по $U, P$ и $K$ начину $KPR$
$t_{uo}, T_{uo}$	трајање унутароперацијских застоја $PF$ -е односно $SP$ -а
$t_{uo_i}$	пројектовани унутароперацијски застоји
$t_z$	трајање застоја

<b>Ознака</b>	<b>Значење</b>
$U$	узастопно кретање предмета рада
$UR$	укупна временска резерва
$V$	узрочник застоја - чека део из друге организационе целине
$V$	скуп чворова графа
$V^{(b)}$	базни (почетни) чвор оријентисаног графа
$V^{(p)}$	скуп почетних чворова
$V^{(s)}$	спољашњи чворови оријентисаног графа
$v(t)$	функција кумулативног ангажовања обртних средстава
$V^{(u)}$	унутрашњи чворови оријентисаног графа
$V^{(z)}$	завршни чвор
$V_j$	ознака за алтернативне технолошке поступке (варијанте израде)
$VNC\checkmark$	просечна вредност свих трошкова $PPS$ -а, осим трошкова директног материјала, по норма часу реализоване производње
$V_{oc}$	просечна вредност укупних фиксних трошкова по норма часу остварене производње
$V_{ov}$	просечна вредност осталих варијабилних трошкова по норма часу остварене производње
$V_r$	просечна вредност зарада радника ангажованих у процесу производње $SP$ -а по норма часу остварене производње
$w$	тежинска функција гране графа
$w(G)$	тежина графа $G$
$w(P_{p,k})$	тежина подграфа кога дефинише пут $P_{p,k}$
$W_m$	трошкови директног материјала по јединици $SP$ -а
$W_{ov}$	јединични остали варијабилни трошкови $SP$ -а
$W_r$	трошкови директног рада по јединици $SP$ -а
$X$	узрочник застоја - нема посла
$X$	укупна тражња (поруцбина) за $SP$ -ом
$X_i$	сложен производ
$x_j$	делови сложеног производа
$x_{i,j,k,\dots,m}$	ознака лука графа ( $PF$ -е)
$x_{i,j,k,\dots,m}^{v1,v2,\dots,vn}$	ознака за алтернативне технолошке поступке
$x_o$	оптимална производна серија $SP$ -а
$z$	укупан број производних радника
$Z_1 - Z_8$	укупне залихе у $PPS$ -у
$z_a, z_u$	укупан број административних и запослених радника
$Z_D$	залихе инпута у складиштима добављача
$z_g$	укупни губици радног времена
$Z_i$	тренутак завршетка производње $TO$
$z_k$	укупне залихе на нивоу $PF$ -а
$Z_M$	залихе у малопродајним објектима
$z_r$	просечан бр. произ. радника који је присутан на послу сваког дана
$Z_V$	залихе у veleпродаји
$ZZ\Delta T_{j+1}$	тип везе који дефинише завршетак посматране активности у односу на завршетак претходне, за вредност $\Delta T_{j+1}$



## 1. УВОДНА РАЗМАТРАЊА

Организовање је кључна функција менаџмента којом се пројектују и успостављају односи међу активностима и људима. Изналажење оптималног начина организовања ради постизања најважнијих циљева инспирисало је научнике и стручњаке да дају свој допринос на пољу теорије и праксе, посебно у области индустријске производње. Крајњи резултат организовања јесу сложени пословно-производни системи (*SPPS*) који представљају окосницу индустријског а самим тим и привредног развоја сваке земље. Обзиром да поседују синергетски ефекат, грађењем система са више нивоа, од њих се тражи да буду носиоци развоја и да подстичу настанак и развој средњих и малих предузећа, кроз разне видове кооперације и сарадње.

Ток материјала усмерен је ка логистичком каналу купци-добављачи, и обрнуто. Степен тражње и трошкови у потпуности дефинишу распоред и повезаност субјеката у простору, док је временску компоненту тока материјала теже прецизно дефинисати због стохастичког утицаја више чинилаца. Ток материјала у једном пословно-производном систему (*PPS*) треба посматрати у ширем контексту као део интегралног тока који полази од природних ресурса до људских потреба.

Материјална компонента заузима централно место у токовима између добављача и купаца. Може се проучавати користећи трошковни (статички) или рохрематолошки (динамички) приступ. Оличена у предмету рада (материјалу, сировини) материјална компонента је важна због тога што је удео трошкова материјала у укупним расходима значајна ставка која има тенденцију раста са протоком времена (нпр. удео трошкова директног материјала у расходима Компаније "Слобода" Чачак у 2010. години износи 37%). Производни процес се не може замислити без ангажовања средстава. Принцип рентабилности нас обавезује да треба настојати да се оствари што је могуће већи обим производње са што мањим ангажованим средствима.

Адекватном програмском оријентацијом, оптимизацијом производног програма и путем повећања степена коришћења капацитета омогућава се, између осталог, рационално коришћење основних средстава.

Обртна средства могу се наћи у залихама (материјални облик), у новцу и у потраживањима. Са аспекта динамичко-рохрематошког приступа рационално коришћење обртних средстава подразумева настојање да се оствари што већи обим производње уз минимални обим средстава ангажованих у залихама на почетку производног процеса (материјали, полуфабрикати, делови из кооперације), у току процеса (производне фазе) и на крају процеса (делови, финални производи). То значи да треба минимизирати укупни обим средстава ангажованих у залихама а посебно на почетку и на крају производног процеса.

Нажалост, индустријска пракса код нас демантује напред наведена настојања. Учешће обртних средстава у укупним пословним средствима на нивоу металопрерађивачке индустрије је незадовољавајуће, док учешће средстава ангажованих у залихама (материјал, недовршена производња, готови производи) доминира у односу на готовину и потраживања (нпр. учешће обртних средстава у укупним пословним средствима Компаније "Слобода" у 2010. години износи 52%: залихе 54%, готовина 4%, потраживања 42%).

Тема докторске дисертације је истраживање процеса управљања производним циклусом сложеног производа. Ток материјала у производном циклусу одвија се у простору и времену. Просторне координате су у потпуности одређене распоредом и повезаношћу радних места и производних целина, док је временска координата одређена реперним тачкама које детерминишу почетак и крај процеса производње.

Производни циклус детерминишу три основне димензије: време (трајање циклуса производње), дужина пута (трајекторија коју пређе материјал у процесу трансформације) и финансијска димензија (обим и начин ангажовања обртних средстава). Све три димензије су међусобом зависне при чему на трајање циклуса и дужину пута директно утичу програмске, техничко-технолошке, тржишне, производне и организационе карактеристике производног система.

На финансијску димензију директно утиче врста и састав производа, економска снага производног система, методе планирања и управљања производним и пословним активностима. Просторна димензија, односно дужина пута одређена је у великој мери пројектном документацијом производних погона и целе фабрике. У тој фази дефинисан је положај производних целина, распоред машина и

складишта, транспортне путање, начин транспорта, организација производње у функцији реализације технолошких операција и контроле.

Независно од тога да ли се ради о континуалном или дисконтинуалном току материјала степен непрекидности и брзина кретања предмета рада указују на пропусну моћ, односно проточност производног система, која представља кључни организационо-техно-економски показатељ тока материјала.

### 1.1 Приступи при истраживању тока материјала

Проучавање свеобухватне проблематике пословно-производних система (*PPS*) у оквиру техничких, организационих и социолошких наука у великој је мери детерминисано друштвено-економским карактеристикама државе којој производни систем припада. Средином 20. века, у водећим државама света, интензивирају се научна истраживања у области проучавања тока материјала.

Анализа процеса индустријског развоја СССР-а и Русије, на основу документованих извора информација и званичне статистике, у совјетском и пост-совјетском периоду, детаљно је анализирана од стране Крајухина и Евдокимове [134]. Индустријски развој Русије, у историјски променљивим условима, анализиран је у периоду од 100 година. Истражени су обрасци, специфичности, параметри и перспективе развоја у различитим регионима Русије. Индустријски комплекс Русије развијао се постепено кроз формирање СССР-а, развој и стагнацију совјетске економије, трансформацију политичког и економског система, оријентацију на тржишне принципе производње. У зависности од државних приоритета настанак и развој индустрије и привреде, у целини, одвијао се по фазама почев од 1918-2008., [134].

У СССР-у и другим социјалистичким земљама, држава има одлучујућу улогу у планском развоју привреде, на планирање производње у одговарајућем асортиману и обиму и на цене, не водећи рачуна о конкурентности привредних субјеката [106]. Траже се сви могући начини да се скрати време производње [187, 208, 212], да се повећа продуктивност и да се максимално искористе средства која су у ограниченом износу стављена на располагање фабрикама [105]. Интерес за проучавање временске димензије циклуса производње настао је из насушне

потребе да се у задатим роковима реализују, често преамбициозни, планови које је диктирала држава [106, 188].

Теорија производних циклуса (*TPC*) настала је у совјетској теорији и пракси као одговор на административно управљање привредом [138]. На пољу теоријских поставки које се односе на дефиниције, структуру производног циклуса, зависности од начина кретања предмета рада, елемената који утичу на трајање и могућности скраћења времена, *TPC*-а је отишла најдаље [186]. Углавном је окренута теоријском проучавању временске димензије циклуса производње, настојећи да у тој проблематици иде што дубље, занемарујући остале аспекте тока материјала [133, 157].

Истовремено САД и привреде западних земаља осећају потребу за другачијим приступом у решавању пословно–производне проблематике у циљу сагледавања и задовољења разноврсних потреба и пробирљивих захтева купаца и тржишта. Све већа зависност од тржишта шири асортиман и обим производње, повећава залихе, утиче на флексибилност производње, трошкове и конкурентност. Различити маркетинг концепти и правци у области менаџмента [2, 20, 24, 69, 121, 141, 144, 155, 162, 171, 196] нуде излаз из овог зачараног круга са циљем да се брже и јефтиније задовоље жеље купаца уз профитабилно пословање *PPS*-а.

Нови приступ у америчкој теорији и пракси, а касније и у другим западним државама, нема јединствени назив осим што подразумева ток материјала [107, 109, 173]. У обимној литератури [128] сусрећу се следећи изрази: *Rhochrematics*-*"рохрематологија"* (*R*), *Materials Management*-*"управљање са материјалима"* (*MM*), *Physical Distribution Management*-*"управљање физичком дистрибуцијом"* (*PDM*), *Business Logistics*-*"пословна логистика"* (*BL*), *Marketing Logistics*-*"маркетиншка логистика"* (*ML*), *Industrial Logistics*-*"индустријска логистика"* (*IL*). Сви наведени термини третирају проблематику тока материјала у интегралном смислу или по сегментима тока у зависности од значаја који се одређеној фази протока придаје.

Са аспекта научних истраживања амерички приступ одликује практичност при решавању проблема тока материјала која је усмерена ка логистичком каналу купци–добављачи [73, 155, 181]. Теоријска истраживања базирана на логистичко–рохрематолошком приступу имају експерименталну верификацију јер дају

одговоре на конкретна питања везана за: локацију фабрике са аспекта тражње, трошкове и времена транспорта; распоред дистрибутивних центара; величину оптималних залиха у циљу производње или снабдевања купаца, оптималну производну серију итд. Временска димензија циклуса производње се по правилу не истражује, тако да се губи осећај о свеобухватности и системском приступу при истраживању комплетног тока материјала између добављача и купаца.

Након разарања у Другом светском рату Јапан је почео од нуле јер је привреда била потпуно уништена. Демилитаризација привреде подстакла је њен даљи раст и развој, усвојен је антимонополски закон чиме је подстакнута тржишна конкуренција, извршена је реформа пољопривредног земљишта и сузбијена велика инфлација која се појавила одмах након рата [209]. Јапанци су схватили да у производњи лежи кључ брзог развоја привреде и земље у целини. Обзиром да је земља располагала са ограниченим ресурсима расипање материјала у производњи не сме да буде последица грубих грешака и лоше организације. Да би унапредили производњу Тојотини менаџери су применили нове технологије и технике управљања производњом које носе специфична, Јапанска, обележја са напоменом да су оригиналне методе великим делом базиране на енглеским и америчким искуствима и принципима Хенри Форда и Едварда Деминга [168, 194]. Тако је настао *Тојота производни систем* са новим принципима производње (*ЈИТ*) који су примењени не само у Тојоти већ и у целој индустрији Јапана [211]. Резултати су били епохални и до темеља су уздрмали традиционална схватања производње. До тада важеће правило да је искључиво производња у великим серијама економична и ефикасна у основи је оспорено и промењено. Напротив, уважавајући потребе купаца, производња је организована у малим серијама које су економичније, исплативије и ефикасније. Тојотин систем производње заснива се на принципу "тачно на време" ("*just in time*"- *ЈИТ*) који је примењен у серијској производњи на монтажним тракама. То значи да је процес производње усклађен са захтевима купаца [140], са једне стране, али истовремено се производи у малим серијама на најјефтинији и најбржи начин, без грешки и губитака, са друге стране [65, 68, 141]. Монтажа се одвијала ритмично, у континуитету, по принципу усисавања, са деловима који су стизали управо када су били потребни, без сувишних залиха и трошкова складиштења. Проточност на монтажној линији омогућена је

нивелисањем производње уједначавањем трајања технолошких операција, распоредом радних места по технолошком процесу и употребом одговарајућег транспортера. Залихе у недовршеној производњи су минималне, (једнодневне) и служе за успостављање континуитета [24, 121, 137, 140] на флексибилним монтажним линијама намењеним за производњу различитих производа.

Организација производње по принципу "усисавања" ("*demand pull*"), минималне резерве на одговарајућим производним пунктовима (*kanban*) и брзи прелазак са једног на други тип производње (*SMED*) омогућавају брзо реаговање на променљиве захтеве купаца и по врсти и по количинама производа.

Немачки приступ истраживањима тока материјала има своје специфичности, мада се осећа утицај америчког учења [119, 158, 159]. Почетком седамдесетих година 20. века у СР Немачкој почиње да се пише о индустријској и маркетинг логистици са посебним освртом на техничку проблематику тока материјала у процесу производње. Особености немачког приступа огледају се у следећем [128]:

- посебно се анализира и истражује ток материјала у процесу производње, почев од складиштења сировина па закључно са складиштењем робе,
- акценат је стављен на решавање инжењерско-техничке проблематике унутрашњег транспорта, складиштења, паковања и манипулације,
- истиче се важност временске компоненте тока материјала на трошкове, обрт капитала, узрочнике прекида, систем планирања,
- користе се савремене методе са разрађеном софтверском подршком што указује на оптимизациони приступ при решавању временске и просторне димензије тока материјала.

Истраживање тока материјала у СФРЈ и Србији почело је шездесетих година 20. века. Под утицајем СССР-а и других социјалистичких земаља истраживана је преваходно проблематика тока материјала у производном процесу. Највећи број истраживања реализован је у оквиру магистарских [9, 70, 108, 124, 180] и докторских [34, 71, 128, 178] радова одбрањеним на техничким факултетима, при чему предњаче радови одбрањени на Машинском факултету у Београду. До 2001. године најзначајнији радови у овој области су [13-19], а почев од 2005. године па надаље, где се ток материјала разматра кроз моделе за динамичко уравнотежење и управљање *SPPS*-а, радови [34-56]. Досадашња истраживања у Србији третира

су проблематику: структуре производних циклуса, утицајних фактора на скраћење, функционалних зависности времена од одређених величина, моделовања за прорачун и пројектовање циклуса.

На основу историјских чињеница и услова у којима су се одвијали репродукциони токови, посматрано са становишта *PPS*-а, закључно са 80-тим годинама 20. века у теорији и пракси тока материјала искристалисала су се три приступа:

1. **Тржишно-маркетиншки (ТМ)** - представник САД. Полази од купаца-потрошача и разноврсних жеља и потреба које треба задовољити у актуелном тренутку. Материјални ток се успоставља на релацији добављач-купац са жељом да се потрошачи снабдевају у континуитету (принцип "гурања") са производима који су заступљени у производном програму предузећа. Временска димензија процеса производње се уопште не разматра. Инсистира се на капацитету фабрике која омогућава масовнију производњу а тиме и нижу цену.
2. **Планско-производни (РР)** - представник СССР. Анализира и истражује само проблематику трансформације улазне компоненте у процесу производње, од сировине па закључно са финалном монтажом производа. Детаљно се истражује средишњи део тока материјала са циљем да се реализују унапред задате (планиране) количине производа. За остале делове тока материјала (снабдевање и продаја) задужен је "неко други" (бирокуратски апарат државе).
3. **Тржишно-производни (ТР)** - представник Јапан. Разматра се ток материјала уназад, почев од купаца па закључно са добављачима. Флексибилна производња је заснована на принципима "тачно на време" и "усисавања" са циљем да се уваже разноврсни захтеви купаца са малим економичним серијама. Сталним унапређењем производње путем иновација, без великих инвестиција, смањењем губитака и свих видова залиха минимизирају се трошкови производње. Тржишно-производни приступ току материјала по први пут омогућава *PPS*-у да правовремено одговори на захтеве тржишта са прихватљивим ценама и високим квалитетом производа.

У периоду либералних реформи (1992-1999.), заснованих на теорији и идејама радикалног либерализма, настао је друштвено-економски систем са принципима тржишне економије. У процесу глобализације пословања, кроз велике заједничке пројекте јапанских и других компанија почела је шира сарадња у области унапређења производње што је резултирало настанку нове производне доктрине под називом "*LEAN production*". *LEAN* као термин дефинисали су професори Џејмс Вомак и Данијел Џонс 1992. у књизи "Машина која је променила свет", инспирисани боравком у Тојотиним фабрикама у Јапану. Нова производна доктрина представља компромисну симбиозу између концепта мануфактурне и масовне производње.

На почетку 21. века у најразвијенијим државама света и мултинационалним компанијама настао је нов (јединствен) приступ интегралном току материјала под називом [93], линовативни менаџмент.

**Линовативни менаџмент** (*LM*) је динамичан концепт управљања развојем и производњом са тежњом да створи циљану вредност за купца, са што мање утрошених сировина, људског рада, простора, капитала и информација, не доводећи у питање квалитет производа или услуга [192].

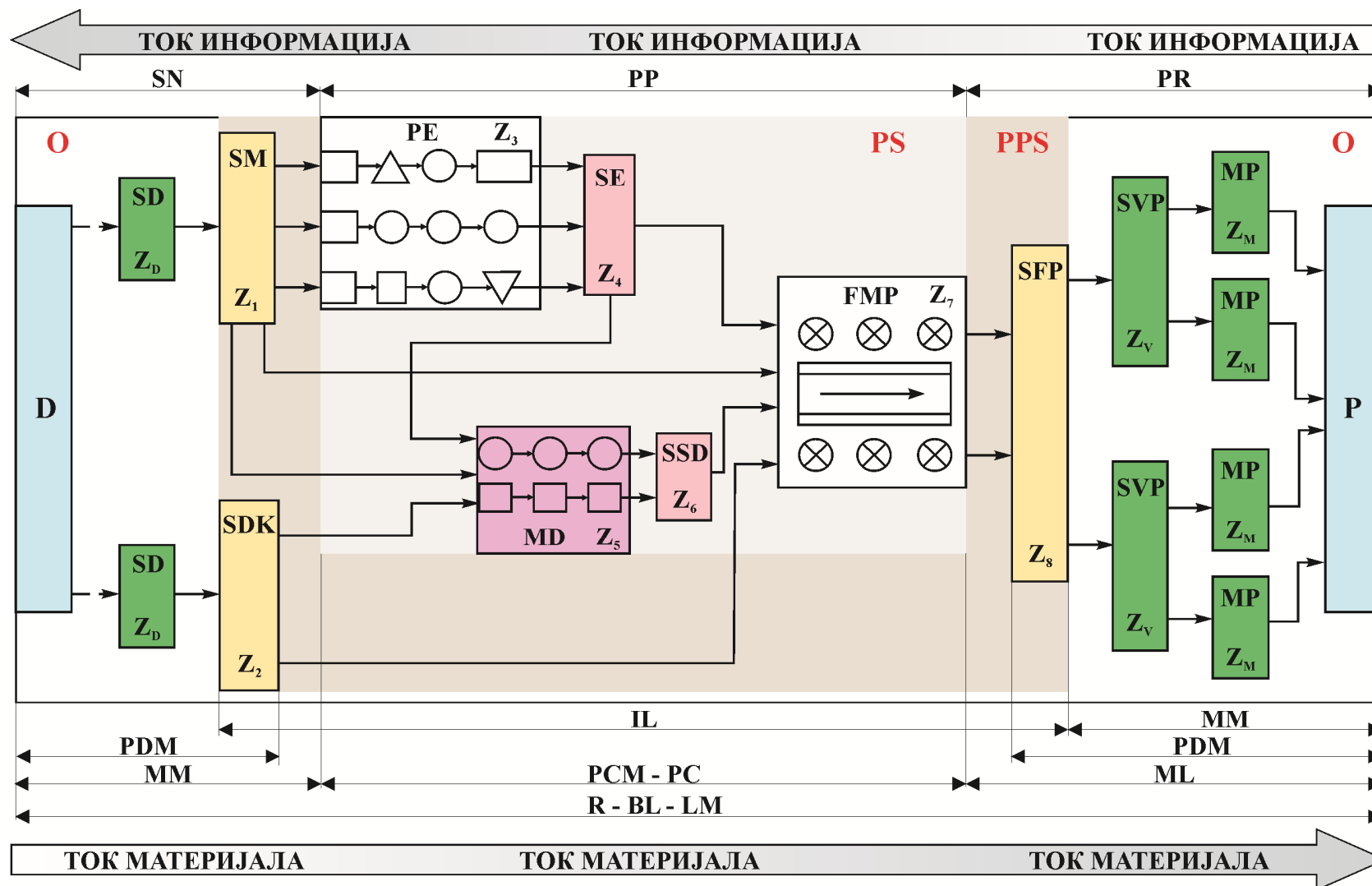
Приступ је заснован на пет основних принципа [162]: вредност из перспективе купца, ток вредности, проточност, усисавање-повлачење и тежња ка изврности.

Алати помоћу којих се постижу принципи *LM* су: визуелизација, присуство у производњи, организација радног места, уочавање уских грла, континуални ток, вишепредметна проточност, вишенивовско усклађивање циљева, аутоматизација, тачно на време, стално унапређење - *PDCA* циклус, минимална недовршена производња, једноставни индикатори за мерење перформанси, елиминација свих врста губитака, ефективност опреме, правовремено откривање грешке, елиминација узрока а не лечење последица, минимално подешавање опреме, достижни и мерљиви циљеви, стандардизација, рад по такту, проактивно и превентивно одржавање, мапирање тока производње [24, 215].



## 1.2 Преглед важнијих научних и стручних истраживања са резултатима

Почев од 50-тих година 20. века па надаље токови материјала представљају централну проблематику теорије и праксе организације и производног менаџмента, без обзира да ли се ради о процесима настанка и трансформације материјала, или пак о организационим формама које то омогућавају. Полазећи од претпоставки, дефиниција, начела и принципа, са једне стране, велике разноврсности услова и различитих углова из којих се посматра проблематика тока материјала, са друге стране, објављен је изузетно велики број радова на руском, енглеском, немачком и другим говорним подручјима. У свим часописима из области: индустријског, производног и машинског инжењерства; производног, операционог и инжењерског менаџмента; примењене математике и информатике; аутоматизације производње; планирања и управљања производњом, управљања квалитетом и одржавањем, заступљена је ова проблематика кроз емпиријске и теоријске студије. Сва истраживања која се односе на ток материјала, у циклусу задовољења потреба потрошача, у основи имају исти циљ, да дају одговоре на следеће питање: Како одговорити захтевима купаца у најкраћем року а да се при томе не створе велике залихе ( $Z_1 - Z_8$ , слика 1) због широког асортимана жеља и потреба? Токови материјала и информација и обухват појединих појмова везаних за проточност приказани су на слици 1. **Ознаке на слици 1:** *SN* - снабдевање са сировином, полуфабрикатима, деловима из кооперације, *PP* - производни процес, *PR* – продаја, *PC* - производни циклус, *IL* - *Industrial Logistics*, *PDM* - *Physical Distribution Management*, *MM* - *Materials Management*, *PCM* - *Production Control Management*, *ML* - *Marketing Logistics*, *R* – *Rhochrematics*, *BL* - *Business Logistics*, *LM* - ливовативни менаџмент, *D* – добављачи, *P* – потрошачи, *PS* - производни систем, *PPS* - пословно-производни систем, *O* – окружење, *PE* - производне целине за производњу елемената, *MD* - производне целине за монтажу делова, *FMP* - производна целина за завршну монтажу и паковање, *SD* - складишта добављача, *SM* - складишта материјала, *SDK* - складишта делова из кооперације, *SE* - складиште елемената, *SSD* - складиште сложених делова, *SFP* - складиште финалних производа, *SVP* - складишта велепродаје, *MP* - малопродајни објекти,  $Z_D$  - залихе инпута у складиштима добављача, ( $Z_1 - Z_8$ ) - укупне залихе у *PPS*-у,  $Z_V$  - залихе у велепродаји,  $Z_M$  - залихе у малопродајним објектима.



Слика 1: Токови материјала, залиха и информација у PPS-у са аспекта управљања, производње, логистике и маркетинга

Укупно је анализирано 222 публикације при чему је у табели 2 (прилог 1) приказан мањи део важнијих научних и стручних радова објављених у периоду од 1974-2013. Табела садржи укупно 97 радова од чега су 54 (56%) научни и 43 (44%) стручни. Од 56 различитих извора 15 (27%) су домаћи а 41 (73%) страни, табела 1.

Табела 1: Структура и број радова у табели 2 (тип, врста, извори)

Публикација		Број радова (број различитих извора инф. - установа/часописа/конференција)		
Тип	Врста	Домаћи	Страни	Укупно
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5=3+4</i>
Научни	Научно-истраживачки пројекти	-	1 (1)	1 (1)
	Докторске дисертације	4 (2)	2 (2)	6 (4)
	Магистарски – мастер радови	6 (1)	7 (7)	13 (8)
	Часописи (реферисани у WoS)	-	34 (21)	34 (21)
	Укупно	10 (3)	44 (31)	54 (34)
Стручни	Часописи	15 (6)	-	15 (6)
	Конференције	17 (5)	8 (8)	25 (13)
	Уџбеници	1 (1)	2 (2)	3 (3)
	Укупно	33 (12)	10 (10)	43 (22)
Укупан број радова (укупан број различ. извора)		43 (15)	54 (41)	97 (56)
Заступљеност радова (различитих извора инф.)		44% (27%)	56% (73%)	100% (100%)

Са теоријског и апликативног становишта радови из табеле 1 разматрају:

- парцијалне (производња, снабдевање, отпрема, складиштење) и интегралне (производња са одговарајућим ограничењима) токове материјала,
- временску, финансијску и просторну димензију тока материјала у машинској (35), електронској (10), текстилној (2), прехранбеној (1) и дрвној (3) индустрији са идентификацијом критичних ресурса и степена коришћења производних капацитета, уских грла и узрочника застоја,
- великосеријску и средњесеријску (25), малосеријску (12) и појединачну (13) производњу са сва три начина кретања предмета рада,
- једноделне и сложене производе са описом структуре сложеног производа,
- структуру, прорачун и скраћење трајања циклуса производње, коефицијент протока, оптималне залихе и производне серије, могућност коришћења *JIT* и *LEAN* принципа, планирање и управљање производњом, примену *MRP* и *MRP II* концепта, алтернативну употребу делова и технолошких поступака, пројектни приступ и производњу по наруџби, линијску производњу делова,
- континуалну и прекидну великосеријску и серијску проточну производњу,
- прекидну серијску и појединачну производњу са и без понављања.

### 1.3 Анализа претходних истраживања са коментарима

Ако се пође од чињенице да циклус означава збир активности које се извршавају у кругу може се констатовати да се ток материјала у *PPS*-у поклапа са обртом новца и да се одвија у циклусима "новац - материјал - производња - производ - новац". Процес производње обухвата најважнији сегмент тока материјала јер су производне активности фабрике усмерене на стварање одређених врста производа и добара. Производни циклус (*PC*) је изведен појам од цикличног начина одвијања производних активности па сходно томе подразумева скуп активности потребних за трансформацију сировина, материјала и полуфабриката у производе. Производни циклус карактерише много димензија. Са становишта основних принципа рационалне организације процеса производње (превенција, континуалност, проточност, флексибилност, ритмичност) најважније су три димензије производног циклуса: временска (трајање), просторна (дужина тока материјала) и финансијска (обим и начин ангажовања средстава).

#### 1.3.1 Анализа истраживања у СССР-у и Русији

Теорија производних циклуса (*TPC*) настала је у СССР-у и другим социјалистичким земљама, па и код нас, с тим што се под појмом *PC* најчешће подразумева временска димензија тока материјала у процесу производње.

Теоријске основе *PC*-а поставили су професори О. И. Непорент, Б. Г. Соколов, П. В. Крепиш и К. Г. Татевосов у периоду убрзане индустријализације СССР-а (1928-1940.). Прве формуле за прорачун трајања производних циклуса предложио је Непорент 1928. и Соколов 1929. године [105]. Уџбеник Непорнета публикован 1933. представља први литературни извор који третира основне принципе и формуле за прорачун трајања циклуса производње у зависности од типа организације тока редоследа операција. Прве методе за терминирање производње разрадио је Крепиш 1935. на основу прорачуна трајања *PC*. Књигу под називом: "Производни циклус у погонима металопрерађивачке серијске производње" написао је Татевосов 1940. године [128].

Непосредно након Другог светског рата (1947-1952) настављено је интересовање совјетске науке за проблематику производних циклуса. О начинима скраћења *PC*-а пише П. Шулман 1947., док је прво велико саветовање на тему *PC*

одржано крајем 1949. у Свердловску. На саветовању су запажени радови И. Розенберга и других научника. Усвојена је резолуција о скраћењу трајања *РС*-а и бољем искоришћењу основних средстава [134]. Г. Теплов 1950. пише о скраћењу *РС*, Л. Ефремов 1951. изучава проблематику *РС*-а у аутомобилској индустрији а 1952. године А. Ефимов пише о *РС* у машинској индустрији.

У периоду опоравка индустријске производње и равномерног развоја привреде СССР-а (1953-1964.) И. Розенберг 1956. објављује књигу "Скраћење трајања *РС*-а у машинској индустрији" [187], С. Думлер изучава методе за прорачун *РС*-а, М. Бугај проучава циклусе у области машиноградње, К. Татевосов [208] и А. Толстих [212] издају књиге које се баве прорачуном и скраћењем *РС*-а.

У периоду реформи социјалистичке економије (1965-1985) запажени су радови: Г. Либермана [138], Ј. Калиберде [105], Т. Крајкове [133], Ц. Цветкова [25], И. Розенберга [186], С. Камницера [106] и С. Сачка [188] који проучавају трајање циклуса, начине за његово израчунавање и скраћење, и предлажу методологију за планирање и терминирање производње.

У периоду либералних реформи и тржишног начина привређивања Русије (1992-2007) треба истаћи радове Е. Непомњашћија [157], Л. Мешкове, И. Белоуса, Н. Фролова [148] и Г. Сребреникова [190, 191].

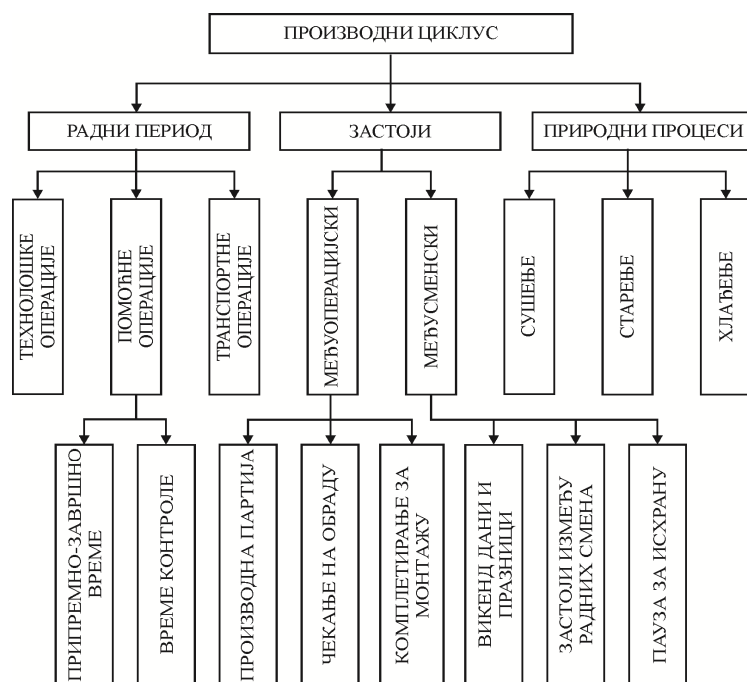
Значајан допринос изучавању актуелне проблематике организације и економике индустријске производње, структуре и прорачуна *РС*, савремених принципа и метода производног менаџмента, почев од 2008. године па надаље, дају: В. Гавренкова и А. Козловскаја [61]; Л. Трусова, В. Шћепочкин и В. Богданов [214]; Г. Крајухин и Е. Евдокимова [134], С. Медведева [147], А. Фомин [59], М. Кондратијева и Е. Баландина [122], В. Бичанин [8].

Анализом доступне литературе издате у СССР-у и Русији у периоду 1930-2014. може се констатовати следеће:

1. У периоду 1930-1960. стварана је теорија *РС*. Радови објављени у том периоду искључиво или већим делом баве се *РС* што се може закључити и по називима радова. Од 1960-1980. тема *РС* је изузетно актуелна и са теоријског и са практичног аспекта. У уџбеницима из области организације, економике, планирања и управљања производњом детаљно се третира проблематика *РС* у оквиру поглавља која се односе на организацију производних процеса у

- времену. Од 1980-2000. опада интересовање научне и стручне јавности за ову област организације да би од 2000. године проблематика *PC* била поново актуелна. На почетку 3. миленијума присутан је велики број радова у којима се расправља о савременим принципима и методама организације производних процеса, проточној, флексибилној и аутоматизованој производњи [8, 122, 147, 214].
2. Радови из области *TPC* третирају проблематику везану за: основне појмове и дефиниције; структуру циклуса; прорачун трајања циклуса у зависности од начина кретања предмета рада и других величина; идентификацију узрочника који изазивају застоје у производњи и начине скраћења циклуса.
  3. У радовима углавном преовладава теоријски аспект са малим бројем практичних истраживања. То не значи да емпиријска истраживања нису била на адекватан начин заступљена. Напротив, емпирија је била присутна у свим фазама индустријског развоја СССР-а и Русије [134], али због друштвено-економских односа, политичке ситуације и блоковске поделе резултати практичних истраживања нису публиковани.
  4. У обимној литератури постоји на десетине дефиниција помоћу којих се објашњава појам *PC*-а. Осим Розенберга [187] и још неколико аутора који *PC* третирају као скуп активности, које између осталог, карактерише и трајање, већина аутора под истим појмом подразумева искључиво временски период. Сходно томе, производни циклус подразумева календарски период времена у процесу производње, детерминисан одговарајућим реперним тачкама, потребан за производњу (монтажу) било ког полуфабриката, дела, склопа или готовог производа [8, 25, 105, 122, 133, 148, 157, 190, 191, 212, 214]. За почетак производње аутори [8, 25, 61, 105, 133, 148, 187] сматрају тренутак уласка материјала, а за завршетак излазак готовог производа. Аутори [122, 157, 190, 191, 212, 214] за карактеристичне моменте у процесу производње сматрају почетак трансформације материјала на 1. операцији, односно завршетак производње готовог производа на последњој технолошкој операцији.
  5. Структуру производних циклуса  $t_{cs}$  проучава већина аутора. *PC* се састоји од радног периода  $t_r$ , застоја  $t_z$  и времена природних процеса  $t_{pp}$  [122], слика 2, релација (1). Радни период (технолошки циклус) обухвата трајање

технолошких, помоћних (припремно-завршно време и време контроле) и транспортних операција. Застоји могу бити мађуоперацијски  $t_{mo}$  (чекање на обраду, чекање на формирање производне-транспортне партије која прати технолошки след операција и време проведено на залихама у циљу формирања сета делова за монтажу) и међусменски (нерадни-викенд дани и празници, пауза за исхрану и одмор, застоји између радних смена). Време природних процеса обухвата процесе природног сушења на ваздуху, хлађење, природно старење, ферментацију у прехранбеној индустрији и производњи алкохолних пића итд. Време природних процеса у совјетској литератури третира се на различите начине. По Камнициеру [106] и већини других аутора ово време представља део производног циклуса и треба га засебно анализирати, слика 2. По Краиковој [133] ово време припада радном делу циклуса па га тако треба и третирати, док Ефимов [71] сматра да ово време треба припојити застојима.



Слика 2: Структура производног циклуса

- Полазећи од технолошке документације, која садржи укупан број и трајање технолошких операција, већина совјетских аутора настоји да дефинише формуле за прорачун дужине  $PC$ . Концепт почива на радовима О. И. Непорента који од 1928. указује на три могућа начина кретања серије делова при преласку

са операције на операцију: узастопном, паралелном и узастопно-паралелном или комбинованом. Ова проблематика у литератури је највише заступљена и придаје јој се највећи значај тако да се може констатовати да је прорачун времена основна карактеристика теорије  $PC$ . Трајање циклуса  $t_{cs}$  зависи од много фактора као што су: извршења норме, трајање смене, броја смена, радног календара фабрике, броја радних места  $c_i$  по операцијама, међуоперацијских и међусменских застоја  $t_{mo}$ , нормираног времена  $t_i$ , припремно-завршних времена, броја технолошких операција  $n$ , величине производне серије  $q$  и транспортне партије  $p$  итд.

У литератури се сусрећу различите формуле [128], за исти начин кретања предмета рада, које су по правилу преобимне, са доста коефицијената и компликоване за примену. Калиберда [105] користи једну формулу за прорачун трајања  $PC$  која садржи 38 варијабли. У актуелној литератури [8, 61, 122, 148, 157, 190, 191, 214] за прорачун времена  $PC$  користе се формуле (1) - (3), при чему су измењене ознаке и математичка формулација, али је суштина остала иста.

$$t_{cs} = t_t + t_z + t_{pp} = t_t + n \cdot t_{mo} + t_{pp}, \quad t_t = \left\{ t_t^{(u)}, t_t^{(p)}, t_t^{(k)} \right\} \quad (1)$$

$$t_t^{(u)} = q \cdot \sum_{i=1}^n \frac{t_i}{c_i}, \quad t_t^{(p)} = p \cdot \sum_{i=1}^n \frac{t_i}{c_i} + (q-p) \cdot \max_i \left\{ \frac{t_i}{c_i} \right\} \quad (2)$$

$$t_t^{(k)} = q \cdot \sum_{i=1}^n \frac{t_i}{c_i} - (q-p) \cdot \sum_{i=1}^{n-1} \min \left\{ \frac{t_i}{c_i}, \frac{t_{i+1}}{c_{i+1}} \right\} \quad (3)$$

Поред застоја  $t_z$  и времена природних процеса  $t_{pp}$  на трајање циклуса  $t_{cs}$ , релација (1), утиче технолошки циклус  $t_t$  чије трајање зависи од начина кретања предмета рада: узастопни  $t_t^{(u)}$ , комбиновани  $t_t^{(k)}$  или паралелни  $t_t^{(p)}$ , релације (2) и (3).

7. Не постоје подаци који се односе на идентификацију и истраживање кључних узрочника прекида у процесу производње и њиховог утицаја на структуру укупних губитака у циклусу. Камницер [106] на основу спроведених истраживања закључује да у металопрерађивачкој производњи укупни застоји



у производном циклусу износе 42%, у производњи електромотора 64% а у прехранбеној индустрији 8%, с тим што време природних процеса износи 83%. М. Радиевскиј [128] истиче да укупни застоји у производњи машина алатки износе 84% у односу на трајање *PC* у календарским данима. Најобимније истраживање спровео је Розенберг [186]. На узорку од 142 елемента која се производе у 22 погона механичке обраде код 125 делова учешће застоја у *PC* износи преко 50%. У малом броју радова утврђује се функционална зависност између појединих елемената циклуса. На пример, Сачко [188] утврђује функционалну зависност међуоперацијских губитака у зависности од коефицијента специјализације радних места.

8. Начини за скраћење циклуса и ефекти који се тиме постижу разматрају се искључиво са теоријског аспекта. Скраћење циклуса [8, 59, 122] могуће је постићи: рационалним кретањем предмета рада, преклапањем помоћних и транспортних операција са технолошким, смањењем или елиминацијом прекида и застоја, развијањем нових технологија. Оптимизација производне серије и транспортне партије не разматра се у склопу проблематике пројектовања *PC*. Пројектовање *PC* поистовећено је са прорачуном. Планирање и управљање производњом заснива се на интуицији и искуству, без јасне визије шта су реалне могућности са аспекта количина и рокова. Истраживање *PC* сложених производа (комплексних процеса) није присутно. У малом броју радова [122] проблематика се третира уопштено, без модела за опис структуре сложеног производа и методологије за прорачун и практичну примену.

### 1.3.2 Анализа истраживања у СФРЈ и Србији

Интересовање за теорију производних циклуса у СФРЈ и Србији почело је 60-тих година 20. века (В. Дешић, "Системско утицање на резултате у производњи", 1960.). У уџбенику В. Дешића "Методe научне организације рада" 1966. и у скрипти В. Булата "Организација и економика производње" 1967., *PC* се дефинише као период времена почев од израде одређене количине производа па до потпуног завршетка производње (фабрикације) [180]. К. Кушец 1968. објављује рад под називом "Реорганизација циклуса производње уклањањем застоја" а затим и Б. Ћорић 1971. под називом " *PC* као функција међуоперацијских застоја" [128].

Током 70-тих година запажени су радови: А. Виле и З. Лејхера 1972. [128], Л. Косиола 1972. [127], З. Рајковића 1974. [180], П. Бојанића 1974. [9], М. Жаје 1975. [128], В. Булата 1976. [14] и 1977 [17], И. Медвешћака 1978. [128], Ј. Илића 1978. [70] и Б. Копривице 1979. [124].

У периоду од 1973-1980. у часопису Организација рада (Техника) објављени су радови З. Рајковића "PC као показатељ трајања производног процеса" 1973. и "Прорачун PC-а делова у условима серијске производње" 1976., З. Рајковића и С. Јовановића "Утицај дужине PC-а на величину ангажовања средстава" 1979., затим радови М. Миливојевића "Израчунавање времена протока материјала у процесу производње" 1976., Б. Горника "Хомогеност процеса производње и њен утицај на искоришћење капацитета, међуоперационе застоје и трајање PC-а" 1977. и радови Б. Копривице [125, 126] 1980. године.

Од 1980-1992. објављени су радови Т. Пантелића [163], Т. Кралева [128-132], Ђ. Врцеља, Б. Божовића, И. Огорелеца [218], А. Виле и др. [216, 217], М. Гудића, М. Кларина, Р. Ђукића и др. [64, 112], М. Кларина [111], М. Радовића, О. Илића [179], В. Булата [15], Ј. Илића [71].

Интересантно је да се током 70-тих и 80-тих година проблематика PC-а претежно истраживала у металопрерађивачкој грани индустрије са практичног аспекта, где је углавном присутан прекидан начин производње. Мањи број радова анализира континуалну производњу приликом израде и склапања делова на производним и монтажним линијама.

З. Рајковић [180] је истраживао интеракцију PC-а више делова у условима производње пољопривредних машина коју карактерише: широк асортиман производа по врсти и типу, малосеријски тип производње са серијама од неколико стотина комада, велика сложеност производа, претежно групни распоред машина и несинхронизованост у процесу производње делова и монтаже, што има за последицу вишемесечно трајање производног циклуса.

Истраживање поступака за утврђивање PC-а сложеног производа у ИМР-у, у погону за производњу мотора за пољопривредне машине, спровео је Ј. Илић [70]. Производњу карактерише мали сортиман производа, серијски тип производње од 300-2000 мотора, велика сложеност производа, линијски и групни распоред машина.

Б. Копривица [124, 125, 126] истраживао је *PC* у условима појединачне и малосеријске производње алатних машина у ИЛР Железник. Регресионом анализом истражена је функционална зависност коефицијента протока, по групама машина, од технолошке дужине производног циклуса утврђене по узастопном начину организације тока редоследа операција.

Временску димензију тока материјала (*VTM*) и њен утицај на: проточност материјала [128, 131], застоје и прекиде у процесу производње [128, 132] и на трошкове производње и обртна средства ангажована у незавршеној (недовршеној) производњи [128, 129, 130] истраживао је Т. Кралев. Практични део истраживања [128] је реализован у 20 предузећа са подручја Републике Македоније. У центру истраживања [128] је материјална компонента и рохрематолошки приступ проучавања тока материјала у производним системима са аспекта временске димензије (*VTM*) и финансијске димензије (трошкови производње, обим и начин везивања обртних средстава). Проучавање *VTM*-а је од изузетног значаја, констатује Кралев, јер процентуално учешће утрошеног материјала у укупном приходу износи 50% а процентуално учешће утрошеног материјала у цени коштања 70% (подаци се односе на просек металопрерађивачке индустрије СФРЈ у периоду 1972-1980. године).

Идентификација узрочника, мерење губитака и степена коришћења машинских капацитета од изузетног је значаја за проучавање *PC*. Најобимнија истраживања обављена су током септембра и новембра 1983. у *SPPS*-у "Слобода" Чачак у оквиру пројекта "Приступ и методолошки оквири утврђивања расположивих капацитета и степена њиховог коришћења у организацијама удруженог рада наменске производње и дефинисање предлога мера и препорука за повећање производње". Извршено је прелиминарно (I фаза) и главно (II фаза) снимање степена коришћења капацитета по машинама, организационим целинама, данима, сменама и узрочницима губитака.

Прелиминарна истраживања обухватила су разраду методолошког концепта заснованог на примени Методе тренутних запажања (*MTZ*). У овој фази сниман је рад 491 машине у првој смени. Машине се налазе у четири организационе целине од којих се једна бави деформацијом (*D*), две резањем (*R1*, *R2*) и једна комплетирањем (*S*). Обухваћено је 6 обележја (*T*, *M*, *K*, *A*, *Ѓ*, *O*) при чему су

резултати ове фазе истраживања подебљани у табели 3. У другој фази истраживања укупно је снимано 328 машина у првој и другој смени.

Табела 3: Коришћење машинских капацитета и структура губитака, извор [64]

ОРЈ	Смена	Укупан број					Резултати		
		машина	дана	обилазака	обележја	података	$\eta$	$X$	$g$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
D	прва	81	9	12	6	8748	0,3925	0,6075	
	прва	67	11	12-16	10	19698	0,3636	0,3083	0,3281
	друга		9	15-16			0,2869	0,3570	0,3561
R1	прва	145	8	9-10	6	11455	0,3938	0,6062	
	прва	99	9	12	10	21384	0,4479	0,1618	0,3903
	друга		9	12			0,3262	0,4057	0,2681
R2	прва	227	7	10-11	6	17252	0,5020	0,4980	
	прва	124	8	12	10	25296	0,5373	0,2644	0,1983
	друга		9	12			0,3462	0,5036	0,1502
S	прва	38	9	15-16	6	5244	0,4792	0,5208	
	прва	38	9	15	10	10830	0,4090	0,1499	0,4411
	друга		10	15			0,4063	0,4002	0,1935
PS	I-фаза	491	7-9	9-16	6	42699	0,4477	0,5523	
	прва	$M=0,0365 \quad K=0,0528 \quad A=0,0198 \quad \check{C}=0,0556 \quad O=0,3876$							
	II-фаза	328	8-11	12-16	10	37015	0,4502	0,2311	0,3187
	прва	$M=0,0085 \quad K=0,0889 \quad A=0,0307 \quad \check{C}=0,0473 \quad V=0,0231 \quad I=0,0297 \quad O_s=0,0905 \quad (O=0,3744)$							
	II-фаза	328	17-20	12-16	10	77208	0,3921	0,3279	0,2800
обе	$M=0,0090 \quad K=0,0847 \quad A=0,0257 \quad \check{C}=0,0414 \quad V=0,0153 \quad I=0,0280 \quad O_s=0,0759$ $P(D)=0,0277 \quad P(R1)=0,0132 \quad P(R2)=0,0589 \quad P(S)=0,0036 \quad P(PS)=0,0305$								

**Ознаке:** D- обрада деформацијом, R1 и R2- обрада резањем, S- комплетирање, PS- производни систем, M- недостаје материјал, K- квар машине, A- недостаје алат, Ć- недостаје извршилац, V- чека део из друге организационе целине, I- чека део са претходне операције, O- организациони губици, O<sub>s</sub>- остали разлози, X- нема посла, η- степен коришћења капацитета, g- укупни губици  $O=X+V+I+O_s$ ,  $\eta=f(T,P,n)$ , T- технолошко време, P- припремно-завршно време, n- број опажања

Обележје T (машина ради или се припрема за рад) из I фазе замењено је са два обележја T (машина ради) и P (машина се припрема) која су одвојено снимана у II фази. Због велике вредности организационих губитака (O) уместо овог обележја уведена су четири нова (X, I, V, O<sub>s</sub>). У другој фази истраживања укупно је снимано 10 обележја (T, P, M, K, A, Ć, X, I, V, O<sub>s</sub>). Пројектни задатак реализовали су Институт за економику индустрије и Машински факултет из Београда у сарадњи са стручњацима из Слободе. Део резултата приказан је у табели 3 а комплетни резултати публиковани су у радовима [64, 112].

Љ. Илић у докторској дисертацији [71] истражује технолошко и стварно време трајања PC-а усвајајући за реперне тачке циклуса почетак обраде првог комада на првој операцији па закључно са завршетком обраде последњег комада из серије на задњој операцији. Наведена дефиниција се односи на једноделне производе код

којих се материјал помоћу низа операција трансформише у производ који је намењен тржишту или се уграђује у производ (производе) сложеније структуре.

У периоду распада СФРЈ и формирања нових држава, привреда а самим тим и индустријска производња у Србији стагнира. Од 1992-2005. проблематика тока материјала је и даље актуелна и заступљена је са теоријског аспекта у литератури из: организације и управљања *PPS*-има [3, 12, 16, 18, 146, 168, 184, 202]; технолошких процеса [142, 151, 152, 182, 183]; индустријског менаџмента и логистике [13, 19, 77, 104, 108, 110, 151, 153, 164, 172, 177, 209, 210, 211]; моделовања и инжењерске економије [4, 33, 76, 139, 166, 195]. У малом броју радова приказани су резултати практичних истраживања [36, 38, 72, 115, 116, 117, 118, 160].

Резултати истраживања коефицијента протока у дрвној индустрији саопштени су у раду [72]. Анализом је обухваћено 6 различитих типова столица и 18 радних налога. Коефицијент протока, однос стварног и технолошког трајања циклуса по узастопном начину кретања предмета рада у радним данима, креће се у распону од 0,25-1,57. Заступљен је серијски тип производње са паралелним начином организације тока редоследа операција.

У раду [160] примењен је математички модел линеарног програмирања у циљу оптимизације производње воћних сокова. Помоћу софтверског пакета *LINDO* извршена је оптимизација пословања на тај начин што је динамика производње усклађена са динамиком тражње у одговарајућим временским периодима (четири) уз минимизацију укупних трошкова производње и залиха.

Оригинални модели за опис структуре сложеног производа засновани на технолошком процесу и теорији графова приказани су у раду [36]. Теоријски је описан модел за трансформацију графа у мрежни дијаграм у циљу управљања производњом сложеног производа.

Од 2006. године па надаље токовима материјала и проблематиком производних циклуса бави се мали број аутора. Теоријски приступи разматрани су у радовима [27, 34, 40 - 45, 50, 149, 178]. Резултати практичних истраживања саопштени су на домаћим и међународним конференцијама и стручним часописима, у оквиру следећих тематских садржаја:

- Истраживање коришћења производних капацитета, застоја и структуре губитака [34, 35, 47, 51, 54 - 56, 89, 113, 114, 178];

- Планирање и управљање производњом сложеног производа [34, 37, 39, 41, 79, 84, 86, 90, 91, 95, 96, 98, 99, 102, 154, 178];
- Анализа и пројектовање производних циклуса сложеног производа [34, 52, 53, 87, 88, 93, 94, 97, 100, 101];
- Финансијска димензија *PC* разматрана са аспекта динамике ангажовања обртних средстава [46, 48, 97, 100, 101];
- Примена и могућност коришћења апликативних софтвера за управљање производним циклусима [34, 46, 48, 49, 78, 80 - 83, 85, 92, 95, 96, 98].

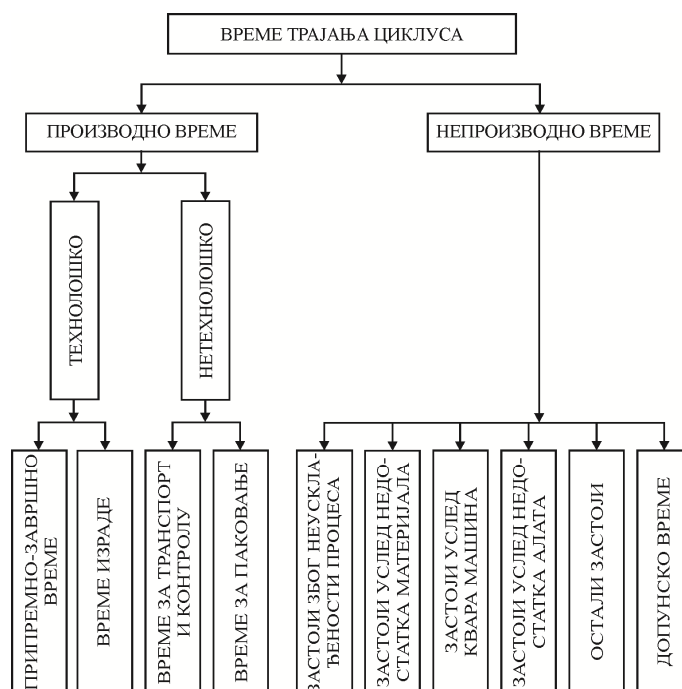
За утврђивање трајања *PC*-а по комбинованом начину кретања предмета рада Ђукић [40] предлаже другачији третман *j*-тих и *k*-тих технолошких операција. У [42], на примеру вишеваријантне производње дела, оспорава се универзалност примене постојећих образаца [14, 18, 19, 211] за прорачун циклуса по комбинованом начину организације тока редоследа операција. Гантограмима и упоредним прорачунима потврђује се тачност формуле дате у раду [40]. Полазећи од реалних услова пословања и захтева да домаћа предузећа металопрерађивачке индустрије успешно послују у [34] је разрађен мултиконтигентни модел веза, [31, 199], између стратегије *PPS*-а и жељених перформанси. Истражени су доминантни утицаји и одабране кључне променљиве од утицаја на динамичко уравнотежење и управљање *SPPS*-има. Интегрисан модел на нивоу производног система има укупно 1114 ограничења и 902 променљиве. Модели за динамичко уравнотежење и управљање третирају производ као генератор свих збивања, унутар и изван *PPS*-а, и нуде оптимална решења као резултат компромиса између реалних могућности и захтева тржишта. Теоријске основе рада и резултати истраживања објављени су у неколико десетина радова и представљају значајан научни допринос проучавању тока материјала.

Скраћење *PC*-а применом модификоване *MTZ* истраживао је Д. Радојковић [178]. У условима појединачне и серијске производње делова у фабрикама "ИНСА" Земун, "ИПМ" Београд и "Лимар" Зрењанин анализиран је коефицијент протока по снимачким данима и укупан на нивоу радних налога.

На основу анализираних литературе у СФРЈ и Србији почев од 1965. године може се констатовати следеће:

1. Интересовање за *TPC* почело је 60-тих година [28] када су у стручној литератури, првенствено под утицајем СССР-а, почели да се појављују први наслови везани за основне појмове, структуру и дефиниције. Од 1970-1991. владало је највеће интересовање за истраживање производних циклуса али и тока материјала посматрано у целини, што је резултирало и великим бројем научних и стручних радова. У периоду распада СФРЈ и формирања нових држава на тлу бивше Југославије интересовање за ову област нагло опада. Од 1992-2005. мали је број практичних истраживања, међутим, проблематика је и даље заступљена у стручној литератури са теоријског аспекта. Од 2006. године, па надаље, токовима материјала бави се мали број аутора што је и разумљиво имајући у виду стање привреде и индустрије у Србији. У односу на претходни период (1992-2005.) забележен је већи број радова у којима су дати резултати практичних истраживања.
2. У радовима су приказани резултати истраживања која су заснована на изворној теорији производних циклуса СССР-а, али и на другим методама, техникама и приступима који су развијени у САД, Немачкој, Јапану, па и код нас, где се проблематика тока материјала третира у ширем смислу. Ток материјала је претежно истраживан у металопрерађивачкој индустрији, у прекидној производњи, где је реализован и највећи број експеримената.
3. Поред стандардних тема везаних за основне појмове, дефиниције, структуру, и прорачун циклуса, заступљена су и истраживања која се односе на: проучавање тока материјала у ширем смислу; унутароперацијске и међуоперацијске застоје и њихов утицај на трајање *PC*; идентификацију узрочника, мерење губитака и коришћење производних капацитета; утицај расположивости, доступности и искоришћености производних капацитета на трајање *PC*; коефицијент протока; пројектовање циклуса; управљање залихама и оптимизацију серије; утицај трајања *PC*-а на ангажовање обртних средстава и обим недовршене производње; моделе за опис сложеног производа; планирање и управљање производњом сложеног производа; моделовање тока материјала у циљу усклађивања динамика производње и тражње са аспекта усвојених критеријума и ограничења; пројектовање нових и коришћење постојећих софтверских решења.

4. Реперне тачке трајања технолошког циклуса дефинисане су почетком производње првог комада из серије на 1. операцији и завршетком последњег комада из серије на задњој технолошкој операцији. За разлику од технолошког, трајање *PC*-а обухвата и све губитке у циклусу. Реперне тачке *PC*-а зависе од методе која се користи за прикупљање података о његовом трајању и по правилу се разликују од тачака које детерминишу технолошки циклус.
5. Структуру времена *PC*-а проучава већина аутора који се баве овом проблематиком. Трајање обухвата производно и непроизводно време [14, 104, 110]. Производно време се састоји од технолошког (време израде, припремно-завршно време) и нетехнолошког времена (транспорт, контрола паковање). Непроизводно време обухвата застоје по разним основама, слика 3. У поређењу са структуром приказаном на слици 2, време трајања не садржи природне процесе и међусменске застоје, али је зато непроизводно време детаљније специфицирано, јер поред организацијских обухвата и друге узрочнике застоја стохастичког карактера као што су квар опреме, лом алата итд.



Слика 3: Структура производног циклуса, извор [14, 104, 110]

6. Прорачун трајања *PC*-а у зависности од начина кретања предмета рада (*KPR*-а) у процесу производње заступљен је у скоро свим радовима који се баве овом проблематиком. Трајање зависи од технолошког циклуса ( $t_t, T_t$ ) и губитака у



циклусу ( $g_c, G_c$ ), релације (4) и (5). Обе релације су идентичне с тим што се релација (4) односи на сложен производ а релација (5) на производну фазу. Од (6) - (12) дате су формуле за израчунавање технолошког циклуса  $t_t$ .

$$T_{cs} = T_t + (T_{uo} + T_{mo}) = T_t + G_c, \quad T_t = \{T_t^{(u)}, T_t^{(p)}, T_t^{(k)}\} \quad (4)$$

$$t_{cs} = t_t + (t_{uo} + t_{mo}) = t_t + g_c, \quad t_t = \{t_t^{(u)}, t_t^{(p)}, t_t^{(k)}\} \quad (5)$$

Формуле за прорачун технолошког циклуса по узастопном  $t_t^{(u)}$  и паралелном  $t_t^{(p)}$  начину *KPR*-а су сличне формули (2), које се користе у руској литератури, с тим што је за величину производно транспортне партије усвојено  $p=1$  и број радних места је идентичан броју технолошких операција тј.  $c_i=1$ , релација (6). Што се тиче комбинованог начина *KPR*-а  $t_t^{(k)}$  у литератури су присутне формуле (7) [70, 71, 180], (8) [19, 110], (9) [15, 18], (10) [14], (11) [108, 211] и (12) [34, 40, 43]. Формула (7) је слична формули (3) под истим условима као и формуле за узастопни и паралелни начин.

$$(2) \wedge p = 1 \wedge c_i = 1 \Rightarrow t_t^{(u)} = q \cdot \sum_{i=1}^n t_i, \quad t_t^{(p)} = \sum_{i=1}^n t_i + (q-1) \cdot t_{i \max}, \quad t_{i \max} = \max\{t_i, i = \overline{1, n}\} \quad (6)$$

$$(3) \wedge p = 1 \wedge c_i = 1 \Rightarrow t_t^{(k)} = q \cdot \sum_{i=1}^n t_i - (q-1) \cdot \sum_{i=1}^{n-1} t_{ki}, \quad t_{ki} = \min\{t_i, t_{i+1}\} \quad (7)$$

$$t_t^{(k)} = \sum_{i=1}^n t_i + (q-1) \cdot \left[ t_{i \max} + \sum_{j=1}^s (t_{vj} - t_{mj}) \right], \quad t_{vj} > t_{j-1} \wedge t_{mj} < t_{j+1} \quad (8)$$

$$t_t^{(k)} = \sum_{i=1}^n t_i + (q-1) \cdot \left( \sum_j t'_{oj} + \sum_j t''_{oj} \right), \quad t_{oj-1} < t'_{oj} > t_{oj+1} \wedge t_{oj-1} > t''_{oj} < t_{oj+1} \quad (9)$$

$$t_t^{(k)} = \sum_{i=1}^n t_i + (q-1) \cdot \left( \sum_j t'_{oj} - \sum_j t''_{oj} \right), \quad t_{oj-1} < t'_{oj} > t_{oj+1} \wedge t_{oj-1} > t''_{oj} < t_{oj+1} \quad (10)$$

$$t_t^{(k)} = \sum_{i=1}^n t_i + (q-1) \cdot t_{i \max} + (q-1) \cdot (t_{i \max} - t_{i \min}), \quad t_{i \min} = \min\{t_i, i = \overline{1, n}\} \quad (11)$$

$$t_t^{(k)} = \sum_{i=1}^n t_i + (q-1) \cdot \left( \sum_k t_k - \sum_j t_j \right), \quad t_{k-1} < t_k \geq t_{k+1}, \quad t_{j-1} \geq t_j < t_{j+1} \quad (12)$$

$$t_t^{(p)} < t_t^{(k)} < t_t^{(u)} \quad (13)$$

$$t_t^{(p)} \leq t_t^{(k)} < t_t^{(u)} \quad (14)$$

Формуле (7) и (8) заснивају се на поређењу времена две суседне операције, формуле (9), (10) и (12) на поређењу времена три суседне операције, док се прорачун технолошког циклуса по формули (11) заснива на операцијама са најкраћим и најдужим временом. У [42] оспорене су формуле (8), (9), (10) и (11) при чему поређење резултата добијених по формулама (7) и (12) у литератури и досадашњим истраживањима није разматрано. Нико се није бавио истраживањем формула за прорачун технолошког циклуса  $T_t$  на нивоу сложеног производа. Као што се из формула може закључити технолошки циклус производних фаза зависи од броја  $n$  технолошких операција и њиховог трајања  $t_i$ , величине производне серије  $q$  и начина  $KPR$ -а. Односи између технолошких циклуса, у зависности од начина кретања предмета рада, дати су у релацији (13) [14, 15, 18, 19, 110, 128, 180, 211], односно (14) [40, 43].

7. Детаљно су истраживани кључни узрочници прекида у процесу производње и мерен је њихов утицај на трајање  $PC$ -а, без обзира да ли су губици посматрани збирно или су разврставани на унутароперацијске и међуоперацијске. Узрочници застоја најчешће се везују за: организацију производње; снабдевање са материјалом, алатом, флуидима и енергентима; одржавање машина и опреме; квалитет производа; квалитет технолошких решења; производни менаџмент и дисциплину извршилаца; унутрашњи и спољашњи транспорт; и друге стохастичке утицаје који се сврставају у "остало". Губици у  $PC$ -у мерени су: помоћу реперних тачака циклуса, непосредним праћењем процеса производње и бележењем производних ефеката и застоја у одговарајуће формуларе, и  $MTZ$  која се заснива на статистици и теорији узорака [207]. Губици у  $PC$ -а су неминовност. Међутим, у нашим условима су изузетно велики и вишеструко надмашују трајање технолошког циклуса, показују досадашњи резултати истраживања.
8. У циљу предвиђања трајања активности у процесу производње истраживан је коефицијент проточности материјала (коефицијент протока)  $K$ , који представља однос између времена производног  $t_{cs}$  и технолошког  $t_t$  циклуса, релација (15).

$$K = \frac{t_{cs}}{t_t} = 1 + \frac{g_c}{t_t} \geq 1, \quad t_t = \{t_t^{(u)}, t_t^{(p)}, t_t^{(k)}\} \quad (15)$$

Што је његова вредност мања организованост производног система и степен синхронизације активности су већи и обрнуто. Обзиром да се пореде остварене вредности  $PC$ -а са технолошким (идеалним) логично је очекивати да коефицијент протока узима вредности веће од један ( $K > 1$ ). Међутим, у пракси то често није случај [70, 72, 124, 128]. При прорачуну коефицијента протока већина аутора усваја вредности технолошког циклуса по узастопном начину кретања радних комада у производној серији. На тај начин време циклуса  $t_{cs}$  дели се увек са  $t_t^{(u)}$ , независно од стварног начина кретања, тако да коефицијент протока често узима вредности мање од један. Постоји још неколико разлога који доводе до овог апсурда: ефективност извршења технолошке операције (квалитет нормирања), неусклађеност временских јединица у којима се изражавају стварни и технолошки циклуси, различити приступи третмана времена за контролу  $t_{ko}$  и времена за транспорт  $t_{tr}$  (улазе у прорачун технолошког циклуса  $t_t$  или у застоје  $t_z$ ) и због нетачних формула за прорачун технолошког циклуса по комбинованом начину кретања  $t_t^{(k)}$ .

9. У радовима се разматрају начини за скраћење  $PC$ -а, засновани на познавању узрочника и структуре укупних губитака, и ефекти који се тиме постижу. Полазећи од технолошког времена  $t_t$  као величине која је позната и унапред дата, предвиђање трајања  $PC$ -а ( $t_{cs}$ ) могуће је извршити на два начина. Први начин се заснива на успостављању функционалне зависности између коефицијената  $k_{uo}$ ,  $k_{mo}$  и технолошког времена  $t_t$  [70, 124, 180], које служе за одређивање удела унутароперацијских  $t_{uo}$  и међуоперацијских  $t_{mo}$  губитака у будућим производним циклусима. Анализом досадашњих истраживања утврђено је да су обе зависности линијске, релација (16). Други начин се заснива на успостављању зависности производног  $t_{cs}$  и технолошког  $t_t$  циклуса преко коефицијента протока  $K$  [70, 71, 124, 128, 180]. На основу експеримент. истраживања ова зависност има облик хиперболе, релација (17).

$$t_{cs} = t_t + t_{uo} + t_{mo} = t_t(1 + k_{uo}k_{mo}), k_{uo} = a + bt_t, k_{mo} = -c + dt_t, a, b, c, d = const \quad (16)$$

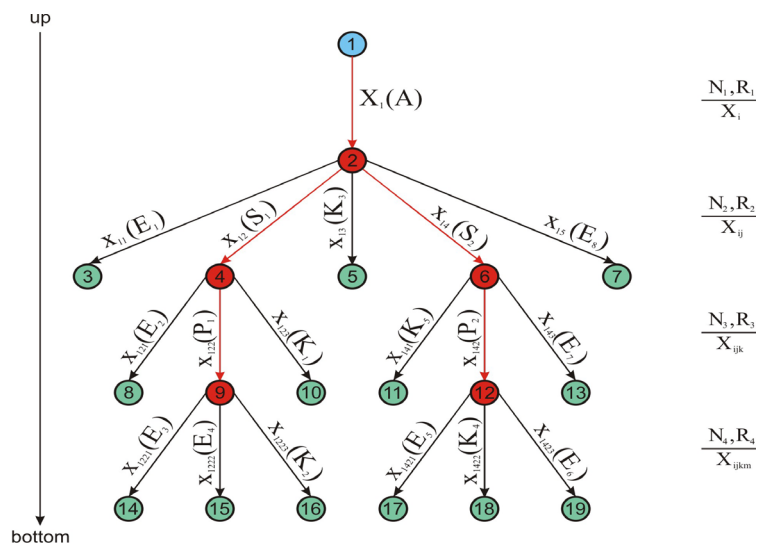
$$t_{cs} = K \cdot t_t, \quad K = a + \frac{b}{t_t}, \quad a, b = const \quad (17)$$

Поузданост планираних рокова зависи од репрезентативности узорка, на коме су заснована истраживања, и добијених експерименталних функција чија се применљивост мери коефицијентом корелације и дисперзије. Аутори [110, 128, 217] истражују зависност коефицијента протока  $K$  од броја делова у серији  $q$ . У [128] аутор истражује зависност између процентуалног учешћа времена свих застоја (губитака) од коефицијента протока  $K$  полиномима 2., 3., 4. и 5. степена.

10. Анализом, израчунавањем и пројектовањем  $PC$ -а сложеног производа ( $SP$ ) бави се мали број аутора. Структура  $SP$ -а описује се на основу склопних цртежа, конструкционе саставнице (шеме рашчлањавања), карте тока процеса, технолошке документације, теорије графова и теорије скупова. У [15, 19, 108] структуру  $SP$ -а аутори описују са четири нивоа: склопови - подсклопови - делови - технолошке операције, односно у [40, 110, 216, 217]: монтажа  $SP$  - монтажа склопова - монтажа подсклопова – израда делова. Шематски приказ редоследа израде делова и монтаже у [180] заснива се на производном току замишљеног  $SP$ -а, који се састоји од 12 делова, 6 подсклопова и склопова, и монтаже производа. За утврђивање временске димензије  $SP$ -а предлажу се графичке методе које се заснивају на примени: гантограма, мрежног дијаграма ( $CPM$ ) и план графика који у суштини представља комбинацију гантовог и мрежног дијаграма са роковима. Аутор [180] указује на недостатке у практичној примени када се анализира производ са много делова (гломазан графички приказ), у ситуацијама репланирања (захтева се ново цртање), приказивања и јасног уочавања временских резерви. Опис  $SP$ -а у [70, 71] аутор заснива на конструкционој саставници. На произвољно одабраним примерима структура  $SP$ -а описује се са подређеним и надређеним нивоима у шеми рашчлањавања. За проучавање временске димензије циклуса предлаже се алгоритам за трансформацију структуре  $SP$ -а у одговарајући план график, са и без могућности преклапања производних активности. На основу план - графика и података о трајању циклуса аутор разрађује оперативни план финализације  $SP$ -а и терминирање производње на нивоу делова. У [124, 125] истражује се коефицијент протока  $SP$ -а (машина) без описа њихове структуре, што је у принципу могуће кад је у питању појединачна производња и узастопни начин  $KPR$ -а. У свим наведеним радовима структура  $SP$ -а приказана је помоћу

објекта (круг, троугао, квадрат, правоугаоник), који означавају производ и његове саставне компоненте, и линија, које дефинишу њихову повезаност, по ширини и дубини шеме. Често се производни циклуси сложених производа анализирају само кроз процесе монтаже најважнијих склопова или самог производа. То има смисла уколико се процес монтаже заснива на деловима које производе кооперанти. У супротном, уколико се делови израђују у производном систему фабрике, тада се *PC* завршне монтаже не може поистоветити са производним циклусом сложеног производа (*PC SP*-а).

Ослањајући се на технолошку документацију, теорију графова и теорију скупова, које чине основу за математичко моделовање, у радовима [34, 36, 37, 46, 52] описан је граф структуре *SP*-а који се састоји од чворова (кругови), помоћу којих се дефинишу одговарајућа стања, и грана графа, које представљају одговарајуће процесе, слика 4. Граф представља основу за истраживање проблематике тока материјала *SP*-а у зависности од усвојених критеријума односно, реперних тачака које омеђавају пословне процесе.



Слика 4: Граф структуре сложеног производа, извор [34]

Уколико се истражује *PC SP*-а тада скуп технолошких поступака, потребних за његову израду, представља основу за цртање графа, у коме гране означавају производне процесе, а чворови карактеристичне моменте у процесу везане за почетак односно завршетак производње (монтаже) [36]. Цртање графа почиње са граном која се односи на паковање производа или завршну монтажу и паковање

или само завршну монтажу [37], у зависности од захтева купаца и пројектоване технологије. Ширина и дубина графа зависи од сложености производа и технолошких решења, и дефинисана је са хоризонталним и вертикалним нивоима уградње компонената [52].

### 1.3.3 Анализа осталих истраживања

У претходна два поглавља (тачке 1.3.1 и 1.3.2) детаљно су анализирани радови аутора који се баве изворном проблематиком теорије производних циклуса (*TPC*) из СССР-а, Русије, СФРЈ-е, Србије и других бивших социјалистичких земаља. Разноврсни услови привређивања и различити углови из којих се посматрају и истражују токови снабдевања, производње, продаје и отпреме (слика 1), омогућили су настанак великог броја радова, претежно објављених на енглеском језику, у којима се третирају токови материјала и информација у развијенијим државама. Да би се комплетирао слика претходних истраживања из области *PC*, извршена је анализа важнијих научних и стручних радова осталих аутора који на директан или индиректан начин третирају ову проблематику. Резултати и закључци теоријских и практичних истраживања, укупно 46 радова, по хронолошком редоследу, дати су под редним бројевима 3, 4, 9, 11, 14-16, 18-22, 24-28, 31,32,34,35, 37, 39-43, 45-47, 50-55, 57, 59-61, 63 и 65 у табели 2 (прилог 1). Наведени радови детаљно су анализирани са аспекта предмета истраживања, карактеристика процеса производње и реперних тачака између којих се одвијају токови материјала. На основу података из табеле 2 изведени су следећи закључци:

1. Мали је број радова који се искључиво баве *PC*-ом у смислу тумачења основних појмова, дефиниција, структуре [32, 58] и прорачуна [206]. У [32] аутор је истражио трајање и структуру времена *PC*-а канцеларијских врата. *PC* траје 158,25 часова, од чега губици у циклусу износе 96,5%. Трајање *PC* даски у дрвној индустрији, истраживао је аутор у [58]. Време циклуса, од поручбине до испоруке, износи 615 часова, од чега губици са непроизводним временима износе 86,5%. За прорачун технолошког циклуса по комбинованом начину кретања  $t_i^{(k)}$  аутор у [206] предлаже формулу (18):

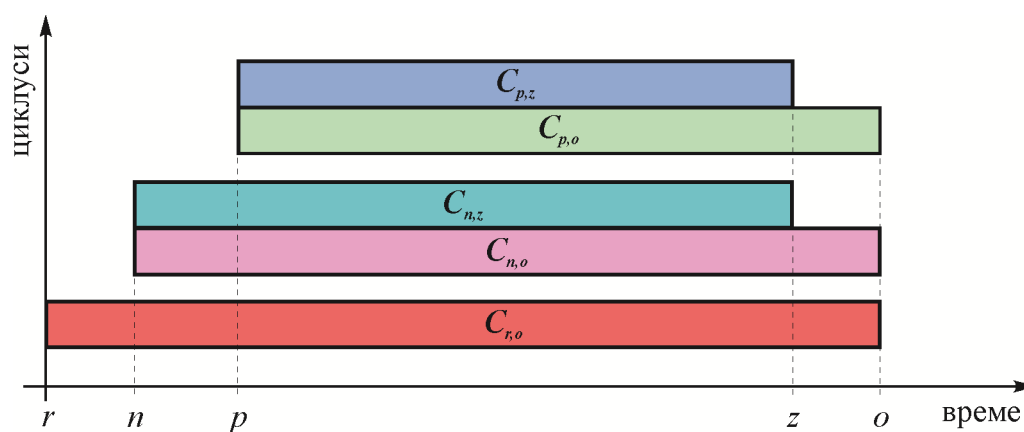
$$t_i^{(k)} = \sum_{j=1}^n t_j + (q-1) \cdot \sum_{j=1}^n (t_j - t_{j-1}) \cdot I_j, t_j \leq t_{j-1} \Rightarrow I_j = 0 \wedge t_j > t_{j-1} \Rightarrow I_j = 1 \quad (18)$$

2. У радовима [22, 30, 32, 66, 68, 75, 107, 109, 120, 135, 136, 137, 165, 175, 197, 198, 206, 213] анализира се циклус производње  $C_{p,z}$  између реперних тачака почетка ( $p$ ) и завршетка ( $z$ ), слика 5.

3. У већини радова истраживање се везује за конкретну пословно-производну проблематику која поред циклуса производње  $C_{p,z}$  укључује и друге тангентне процесе који се односе на снабдевање (транспорт, складиштење и припрема материјала) и продају (складиштење готове робе, отпрема и транспорт).

На истраживачки оквир а тиме и на избор реперних тачака циклуса ( $r, n, p, z, o$ ), у оквиру којих се истражују токови материјала, слика 5, утиче достигнут степен техничко-технолошког развоја, ниво организационе културе и менаџмента, производна доктрина и принципи на којима се заснивају процеси производње.

Циклус посматран са аспекта задовољења рокова испоруке  $C_{p,o}$  [2, 7, 23, 63, 73, 140, 156, 193, 196, 206] садржи процесе производње и продаје ( $p, o$ ). Са аспекта управљања снабдевањем производних система циклуси  $C_{n,z}$  [181, 185, 189] обухватају набавку и производњу ( $n, z$ ). Ток материјала у *PPS*-у дефинисан је циклусом  $C_{n,o}$  [1, 24, 58, 65, 141, 150, 155, 162, 171, 173, 192, 215] који подразумева снабдевање, производњу и продају ( $n, o$ ), односно циклусом  $C_{r,o}$  [57, 67] који, поред наведеног, обухвата и процес развоја производа ( $r$ ).



Слика 5: Реперне тачке циклуса које детерминишу токове материјала

4. Структура сложеног производа, утицај трајања *PC*-а и степена коришћења производних капацитета на пројектовање новог производа, у процесу развоја, предмет је истраживања аутора у [57, 67, 107, 185].

5. Планирање и управљање производним процесима (*MRP*, *MRP II*) анализира се у радовима [1, 155, 156, 181, 196], пројектни приступ планирању у [2, 119, 144, 158, 159, 173] и везивање обртних средстава у [1].
6. Модели за оптимизацију производне серије и укупног броја подсерија, у оквиру ње, истражени су у радовима [1, 6, 62, 63, 74, 150, 213].
7. У случајевима када се процес производње заснива на масовности, проточној линијској производњи и савременој флексибилној опреми, временска димензија циклуса по правилу се истражује у оквиру модела за оптимизацију проточног времена [68, 75, 109, 135, 137, 193].
8. У жижи интересовања многих аутора је финансијска и просторна димензија тока материјала која, поред производње, обухвата комплетну или тангентну проблематику тока везану за динамику реализације поручбина, динамику снабдевања, залихе у магацинима и у процесу производње. Модели за предвиђање, пројектовање и скраћење циклуса, са наведених аспеката, заступљени су у радовима [7, 22, 23, 66, 73, 120, 136, 140, 161, 165, 175, 189, 197, 198]. Имплементација и утицај *JIT* и *LEAN* принципа на перформансе *PPS*-а анализирани су у радовима [24, 65, 141, 162, 171, 192, 215].

#### 1.4 Закључци претходних истраживања

Развој теорије производних циклуса (*TPC*) почео је пре 9 деценија у СССР-у и још увек траје уз присуство све јачег тренда квантификације других утицаја. Теоријско обogaћивање не заснива се само на истраживању процеса производње и савремених метода и принципа организације, већ и на истраживању утицаја тангентних активности и процеса. Теоријски радови и емпиријска провера су све комплекснији са тежњом да се овлада факторима који утичу на комплетан ток материјала од купца до добављача. На пољу *TPC* доминирају радови који су базирани на истраживању контингентних фактора који описују праксу *PPS*-а, кроз студије случаја, потврђујући констатацију да "нема праксе која се на адекватан начин не може описати теоријом".

На основу истраживања, чији су резултати приказани и анализирани у претходним поглављима, може се констатовати, да се проблематиком управљања производним процесима сложеног производа (*SP*-а) бави мали број аутора и да



она није у потпуности истражена, ни са теоријског, ни са апликативног становишта.

Производни циклус *SP*-а често се поистовећује са процесом завршне финализације што је недопустиво уколико се у производном систему, поред монтаже, израђују и делови који улазе у његов састав.

Концепције и приступи за опис структуре *SP*-а углавном се ослањају на дизајн производа који почива на конструкционој саставници и/или шемама производних токова. Делови се означавају симболима или се описују одговарајућим атрибутима (шифра, број цртежа, назив) тако да нису погодни за математичко моделовање и једнозначни опис положаја у вишенивовској вертикалној и хоризонталној структури. Новија истраживања *PC*-а, нарочито у серијској и масовној производњи, моделе *SP*-а заснивају на технолошкој документацији, теорији графова и теорији скупова.

Реперне тачке и структура *PC*-а зависе од заступљеног типа производње, нивоа разраде техничке документације и аутоматизације, континуитета процеса производње, узрочника застоја и осталих карактеристика производног система.

Не постоје формуле за прорачун технолошких циклуса *SP*-а. У радовима се најчешће дају теоријске препоруке или се описује пракса кроз студије случаја. Постоји више различитих формула за прорачун трајања технолошког циклуса у зависности од начина кретања предмета рада, величине производне серије и броја производно-транспортних партија у оквиру ње. Конфузија је нарочито присутна код комбинованог начина организације тока редоследа операција.

Нису разрађени свеобухватни (интегрални) модели за прорачун оптималне производне серије *SP*-а који респектују укупне фиксне и варијабилне трошкове *PPS*-а и уговорене рокове испоруке. Оптимизација се обично заснива на делу трошкова који се односе на припремно-завршна времена, складиштење и замрзавање обртних средстава делова. Пројектни приступ производњи *SP*-а захтева компатибилност између производне серије *SP*-а и производних серија припадајућих делова.

Пројектовање *PC*-а заступљено је претежно код делова *SP*-а и заснива се на коефицијенту протока, који представља однос између стварног и технолошког трајања циклуса, или на утврђивању удела укупних губитака у будућим *PC*-а.

Већина аутора при прорачуну технолошког циклуса усваја узастопни начин кретања радних комада, у производној серији, независно од начина на који се организује ток извршења технолошких операција у процесу производње. Оба начина за предвиђање временске димензије *PC*-а заснована су на кривама регресије које, са одговарајућом вероватноћом, пресликавају постојеће губитке у пројектована решења. Мали је број истраживања у којима се разрађују концепти за пројектовање циклуса производње *SP*-а. Недовољно се разматра проблематика универзалности понуђених решења, при чему је приметан недостатак истраживања која се односе на динамику ангажовања обртних средстава.

Најновија научна истраживања тока материјала одликује практичност при решавању конкретних проблема почев од прихватања па до реализације поруџбине. Углавном се анализирају процеси засновани на основним принципима рационалне организације линијске производње као што су: специјализација, проточност, континуалност, ритмичност, аутоматизација и флексибилност. Оптималном комбинацијом основних, помоћних и услужних процеса, у простору и времену, потребно је обезбедити профитабилно пословање, висок квалитет производа, ефикасну употребу ресурса и најкраћи производни циклус. Пословно-производна проблематика решава се помоћу математичких модела, оријентисаних ка оптимизацији, у зависности од усвојених циљева и ограничења. Временска димензија *PC*-а, као стохастичка величина, дубински се не истражује. Радно оптерећење и проточност представљају детерминистичке величине у моделима које се дефинишу помоћу техничких карактеристика производне линије. Тежећи свеобухватности тока материјала, при моделовању пословних и производних процеса, губи се осећај прецизности и употребљивости добијених решења. За добијање оптималних решења предлажу се оригиналне хеуристике или се користе постојећи апликативни софтвери.

Очекује се да овај рад, кроз теоријске моделе и практичну верификацију, пружи одговоре на уочену проблематику и дилеме које до сада нису решене а односе се на процесе управљања производним циклусом сложеног производа.

## 2. ПРЕДМЕТ И НАУЧНИ ЦИЉ ДОКТОРСKE ДИСЕРТАЦИЈЕ

Утицај окружења, као спољашње стохастичке детерминанте на пословање пословно-производних система (*PPS*-а) захтева нов приступ при планирању, организацији и управљању производним процесима сложених производа. У оквиру овог поглавља дефинисаће се предмет, циљ, опсег, значај и методе истраживања процеса управљања производним циклусом (*PC*) сложеног производа (*SP*). На основу полазних хипотеза и очекиваног научног доприноса дефинисаће се план истраживања и структура докторског рада.

### 2.1 Предмет и циљ истраживања

Глобализација тржишта заслужна је за пробирљив укус и велике захтеве купаца који се односе на квалитет, рокове испоруке, цену, дизајн, еколошке стандарде и одржавање производа у експлоатацији. Успех *PPS*-а у највећој мери зависи од прилагођавања производње условима тражње и примене иновативних решења у области технологије, организације и менаџмента. Да би цена производа била конкурентна потребно је снижити трошкове пословања, елиминисати или смањити уочене губитке у прихватљивом оквиру и адекватно ангажовати ресурсе коришћењем одговарајућих метода за управљање. Обртна средства у производном процесу треба оптимално користити што зависи од величине производне серије, трајања производног циклуса, обима и тренутка ангажовања. Потребно је у потпуности овладати временском и финансијском димензијом у производном циклусу (*PC*) да би производни систем реаговао правовремено, у реалном времену, без обзира да ли се ради о малим, великим, стандардним или специјалним поруцбинама.

У фокусу истраживања налази се сложен производ који представља генератор свих збивања унутар и изван пословно-производних система кога, између осталог, карактерише намена, вишенивовска хијерархијска структура, разноврсни материјали и сировине од којих се припадајући делови израђују, разноврсна технолошка подручја рада итд. Вишеваријантна технолошка решења и могућност уградње истих делова у више различитих производа проблем чини комплекснијим због интеракције производних циклуса.

**Предмет докторске дисертације** односи се на истраживање производних циклуса и развој модела за управљање производним процесом сложеног производа у циљу оптимизације временске димензије и рационализације ангажовања обртних средстава. Управљати временском димензијом трајања производних активности, које су потребне да би се обавио процес производње одређене количине сложеног производа, уз минимални проток времена, минималне трошкове, максимално искоришћење производних капацитета и оптимално ангажовање свих осталих ресурса, постаје императив у условима глобализације пословања *PPS*-а.

**Научни циљ докторске дисертације** је поставка теоријског оквира за развој и примену модела за опис структуре, планирање и управљање процесом производње сложеног производа уважавајући производни програм, принципе рационалне организације производње, захтеве купаца и ресурсе. Предмет и научни циљ чине истраживања комплексним тако да је неопходна декомпозиција циља на циљеве нижег нивоа, и то:

1. Разрада универзалног теоријског концепта за моделовање и опис структуре сложеног производа заснованог на теорији графова и теорији скупова.
2. Провера валидности постојећих и истраживање нових формула за прорачун технолошких циклуса делова и сложеног производа.
3. Истраживање и анализа производних циклуса, утврђивање критичних фактора проточности материјала и одговарајућих законитости.
4. Анализа утицаја фиксних и варијабилних трошкова *PPS*-а на величину производне серије сложеног производа.
5. Развој модела и процедура за планирање производње, пројектовање *PC*-а и управљање производним процесима сложеног производа.
6. Анализа утицаја тржишних, програмских, техничко-технолошких, организационих и производних карактеристика као контекст и оквир за реализацију основног циља.
7. Развијање оригиналних и примена постојећих софтверских решења у циљу унапређења квалитета планирања и управљања производњом и њихова експериментална верификација у одабраном *PPS*-у.

Предмет и циљеви истраживања истовремено намећу приступе универзалности и контекстуалности тако да се, кроз резултате истраживања, може очекивати синергетски ефекат теорије и праксе.

## 2.2 Опсег, значај и методе истраживања

**Опсег истраживања** обухвата проблематику индустријских предузећа, с тим што је експериментални део истраживања реализован у Компанији "Слобода" Чачак. Предузеће је основано 1948. године као производна снага војне индустрије Србије и СФРЈ. Упоредо са развојем производа специјалне намене паралелно се освајао и програм производње апарата за домаћинство. По времену и начину оснивања "Слобода" је један од индустријских првенаца Србије и војне индустрије Југославије. Компанију карактерише динамичан развој и широк производни програм који се састоји од неколико стотина сложених производа различите намене. Заступљен је широк дијапазон технолошких подручја рада: обрада резањем и деформацијом са свим припадајућим технолошким дисциплинама, израда смеша и експлозивног састава производа, одржавање и ремонт средстава, израда специјалних алата, снабдевање са енергентима и флуидима, хемијска и површинска заштита, термичка обрада, прерада дрвета итд. Вишедеценијско искуство, динамичан развој, висок ниво техничких и примењених знања омогућавају значајан извоз на источно и западно тржиште. У Компанији "Слобода" заступљени су сви типови производње, од појединачне па закључно са великосеријском, што подразумева и сва три начина кретања предмета рада у производном процесу. Контекст истраживања, између осталог, везан је за вишегодишњу реализацију уговорених обавеза специјалних производа за извоз (5 сложених производа, укупно 1,5 милиона јединица производа, вредност уговора 52 милиона долара). По физичким (обим производње) и по финансијским (укупан приход) показатељима анализирани производи доминантно учествују у бизнис плановима Компаније у периоду 2010-2012. Област наменске (војне) производње карактерише низ специфичности, почев од тога да су производи специфична роба коју не може било ко да уврсти у свој производни програм, па закључно са специјалним режимима производње, увоза, извоза и мерама заштите тајности података. Истраживање је реализовано на основу

Уговора о пословно-техничкој сарадњи који је склопљен између Компаније "Слобода" Чачак и Машинског факултета у Београду. Подаци су степеновани као поверљиви па их сагласно важећим законским прописима, у даљој процедури, тако треба и третирати. Није дозвољено прештампавање, копирање и објављивање одређених података без сагласности аутора, Компаније и других државних институција.

**Значај истраживања** се огледа у релативно малом броју објављених стручних и научних радова, где је присутно доста недоумица и нејасноћа, па се може закључити да проблематика управљања производним циклусом сложеног производа, у нашем и светским оквирима, није довољно истражена и да пружа доста простора за један овакав подухват. У производним погонима Компаније "Слобода" снимате се постојеће стање, анализирати производни токови групе производа и одабраног производа репрезентанта и експериментално проверити пројектовани модели за управљање производним циклусом. Обзиром да се ради о респектабилном пословно-производном систему са разноврсном опремом и широким спектром примењених технологија закључци истраживања могу се генерализовати на индустријска предузећа Србије, па чак и шире.

С обзиром на изразито мултидисциплинаран карактер тематске области истраживања која подразумева значајан утицај окружења, техничко-технолошких, организационих, производних, математичких и информатичких аспеката докторски рад ће бити реализован коришћењем одговарајућих **научних метода истраживања** и то:

- Метода теоријске анализе (проучавање теоријских сазнања и најновијих емпиријских налаза у вези са темом).
- Дескриптивно-аналитичке методе (анализа, синтеза, индукција, дедукција и генерализација прикупљених података).
- Каузалне методе (откривање узрочно-последичних веза и односа између фактора проточности материјала и анализираних перформанси).
- Компаративне методе (снимање, анкетирање, интервјуисање и упоређивање добијених резултата о анализираним процесима у односу на сличне приступе).
- Метода пројектног, системског и ситуационог приступа.

- Квантитативних метода (статистичке методе, регресиона и корелациона анализа, математичко програмирање, теорија графова и скупова) у циљу утврђивања аналитичких израза којима се описује функционална зависност улазних и излазних параметара при истраживању временске и финансијске димензије производног циклуса.

### 2.3 Полазне хипотезе и очекивани научни допринос

Теоријска истраживања у докторском раду засниваће се на проучавању литературе која третира проблематику управљања временском димензијом трајања производних активности, оптимизације и рационализације производног циклуса, економике пословања, теорије графова и теорије скупова. Физичке појаве и процеси који се истражују у докторској дисертацији односе се на понашање одабраног пословно-производног система у реалним условима пословања. Предмет истраживања и жељени циљеви ове дисертације не могу се остварити без одговарајућих експерименталних истраживања и мерења. **Основне научне хипотезе** од којих се полази су:

1. Успешно применити савремене научне методе и технике у процесу управљања производним активностима сложеног производа.
2. Анализом трајања производног циклуса могуће је идентификовати а затим и истражити критичне факторе проточности материјала и дефинисати одговарајуће законитости њихових утицаја.
3. На основу техничко-технолошке, оперативно-планске, производне и књиговодствено-финансијске документације могуће је дефинисати модел за утврђивање оптималне производне серије сложеног производа са аспекта минимизације укупних трошкова пословања *PPS*-а.
4. Користећи техничку документацију и одговарајућа правила из области теорије графова и теорије скупова описаће се хијерархијска структура сложеног производа и дефинисаће се одговарајуће релације као основа за развијање модела за управљање производним циклусом.
5. На основу графа технолошке структуре и критичних фактора, који утичу на проточност материјала, могуће је истражити правила и дефинисати

методологију за развијање модела у циљу унапређења планирања и управљања производњом сложеног производа.

6. Предложени модели и софтверска решења имају директан утицај на смањење коефицијента протока, оптимални начин ангажовања обртних средстава и рокове испоруке.

Истраживања која ће бити спроведена у овој дисертацији имају велики значај за управљање пословно-производним системима у циљу постизања оптималних перформанси. У домену теоријских и експерименталних истраживања, заснованих на анализи производ - тржиште - пословни ресурси, *очекивани научни доприноси* докторске дисертације су:

- оригинална и универзална методологија за планирање и управљање производним процесом,
- идентификација и дефинисање законитости утицаја најважнијих фактора на трајање производног циклуса у условима серијске производње,
- предлог модела за утврђивање оптималне производне серије сложеног производа и његових саставних делова,
- поставка теоријских модела за опис структуре и пројектовање производних циклуса сложених производа,
- прорачун технолошког и утврђивање стварног трајања производног циклуса сложеног производа,
- успостављање емпиријске законитости за израчунавање коефицијента протока и предвиђање рокова за реализацију поруџбина,
- на основу теоријских модела, експерименталних података и добијених резултата очекује се примена предложене методологије у оперативно-планској и производној пракси Компаније "Слобода" Чачак.

#### **2.4 План истраживања и структура дисертације**

Имајући у виду циљеве и мултидисциплинарни приступ истраживању процеса управљања производним циклусима сложеног производа потребно је извршити обимна теоријска и експериментална истраживања да би се потврдиле полазне хипотезе и остварио очекиван научни допринос. *План истраживања* се састоји од следећих фаза:



- I. Анализа литературних извора релевантних за изучавање комплетног тока материјала од пријема па до реализације поруџбина.
- II. Критичка анализа претходних теоријских и практичних истраживања на тему производних циклуса са посебним освртом на проблематику тока материјала у процесу производње сложених производа.
- III. Дефинисање теоријско-методолошког оквира у зависности од полазних хипотеза дисертације и очекиваног научног доприноса.
- IV. Истраживање и утврђивање законитости утицаја кључних фактора на производни циклус сложеног производа и развој теоријских модела за прорачун технолошког циклуса, опис сложеног производа, оптимизацију, планирање, пројектовање и управљање производним процесима.
- V. Избор квантитативних показатеља и истраживање одговарајућих законитости проточности материјала у процесу производње.
- VI. Проучавање карактеристика одабраног *PPS*-а, избор производа репрезентаната, анализа производних и информационих токова са критичким освртом на постојећи начин планирања и управљања *PC*-ом.
- VII. Прикупљање података и утврђивање трајања производног циклуса одабраних сложених производа и њихових делова.
- VIII. Анализа могућности имплементације одговарајућих софтверских решења у области истраживања и развој нових хеуристика.
- IX. Тестирање и експериментална верификација развијених модела са применом одабраних софтверских алата у истраживачком опсегу.
- X. Анализа и оцена резултата са одговарајућим закључцима који се односе на применљивост теоријских модела и даље правце истраживања.

**Структура докторске дисертације:**

1. Уводна разматрања (фазе: I и II)
2. Предмет и научни циљ докторске дисертације (фаза: III)
3. Теоријска разматрања и развијање модела (фазе: IV и V)
4. Примена теоријских модела са резултатима (фазе: VI, VII, VIII и IX)
5. Закључци докторске дисертације (фаза: X)
6. Литература
7. Прилози

### 3. ТЕОРИЈСКА РАЗМАТРАЊА И РАЗВИЈАЊЕ МОДЕЛА

Управљање производним циклусом сложеног производа (*PC*-ом *SP*-а) подразумева истраживање скупа активности којима се делује на производни систем са намером да се постигну оптимални пословни резултати или унапред задате перформансе. Континуираним дејством управљачких акција смањује се неизвесност о стању производног процеса и утиче се на показатеље циклуса производње превођењем производног система из једног стања у друго.

Модел је најважнија координата вектора управљања, при чему се процес моделовања заснива на постојању сличности између реалног и апстрактног процеса, која се описује одговарајућим математичким релацијама.

Управљање производним циклусом сложеног производа одликује недељивост и хијерархија. Основне карактеристике хијерархије су: време, простор, редослед и међусобна зависност активности. Временском димензијом прате се стања у процесу трансформације материјала и трајање производних активности којима се управља. Простор и редослед су од изузетног значаја за управљање производним процесима, јер управљање мора да прати редослед технолошких активности уз одговарајућа преклапања при изради делова и монтажи, у зонама радног и складишног простора, која се, по правилу, намећу као ограничења. Међузависност се изражава технолошким и управљачким приоритетима при хијерархијском опису сложеног производа, по принципу одозго-наниже, и реализацији производних активности, по принципу одоздо-навише.

Сложеност процеса управљања производним циклусом сложеног производа, сразмерно степену генерализације, опада идући ка нижим (оперативним) нивоима. За приказивање кретања производног система, из једног стања у друго, и зависности између припадајућих делова сложеног производа најчешће се користе рекурентне релације и графови.

У трећем поглављу дисертације дефинисани су основни појмови, утицајни елементи и квантитативни показатељи производног циклуса. Конципирани су и разрађени модели за оптимизацију производне серије, опис структуре, планирање, прорачун и пројектовање производног циклуса сложеног производа. На основу претходних истраживања и расположиве литературе разрађен је истраживачки оквир за пројектовање теоријских модела и њихову практичну верификацију.

### 3.1 Основни појмови и утицајни елементи на производни циклус

Пословно производни систем **PPS** (предузеће, фабрика) је производна јединица индустрије у оквиру које се обављају пословни и производни процеси усмерени на стварање одређених врста добара. Пословно производни систем је сложен (**SPPS**) уколико обухвата комплетан ток материјала (од развоја до продаје) и уколико производња разноврсних сложених производа обухвата све фазе производног процеса: припрему, производњу делова, монтажу и паковање. Скуп свих активности људи и средстава за рад потребних за производњу сложених производа или обављање одређене фазе називамо **производни процес**. Састоји се од радних и природних процеса при чему његову основу чини технолошки процес. **Технолошки процес** је део производног процеса, који садржи циљане активности усмерене на промену облика и/или особина предмета рада. Дефинише се помоћу скупа технолошких операција које су једнозначно поређане у низу, од прве до последње. **Технолошка операција** је заокружен део технолошког процеса који се извршава на једном или више радних места. Састоји се од више захвата, а сваки захват из више покрета. **Основне** или **производне операције** директно су усмерене на промену предмета рада (облик, особине, молекуларни састав, стање, изглед, величина). Поред основних операција технолошки процес обухвата и низ **помоћних операција** (транспорт, контрола, сортирање) чији је задатак да омогуће извршавање основних операција. **Производна фаза (PF)** је део производног и технолошког процеса коју карактерише подскуп технолошких операција помоћу којих се предмет рада трансформише из једног у друго квалитативно стање. У зависности од сложености дела на који се односи, производна фаза може бити елементарна и сложена.

За производњу сложених производа производни процеси су веома разноврсни. У зависности од намене могу се поделити у основне, помоћне и за подршку - логистику. **Основни производни процеси** су дизајнирани да директно модификују облик или стање материјала у производњи. На пример, склапање делова (монтажа), израда делова (механичка обрада), промена структуре у материјалу и особина делова (термичка и хемијска обрада). Основни производни процеси обухватају примарну производњу која се састоји из три фазе: припрема, обрада и монтажа. **Фаза припреме** производње обухвата део производног и технолошког

процеса који је везан за припрему предмета рада пре обраде (сечење, исправљање, обарање ивица и равњање чеоних површина материјала; израду полуфабриката: ронделе, одливци, отковци; означавање и класификација делова). **Фаза обраде** подразумева коришћење одговарајућих технолошких процеса за трансформацију предмета рада, након фазе припреме, у готов део или производ (механичка, термичка, хемијска, електрохемијска, ласерска обрада итд.). **Фаза монтаже** подразумева монтажу сложених делова и готових производа, фарбање и обележавање производа у складу са одговарајућим параметрима, испитивање и паковање. **Помоћни производни процеси** обезбеђују реализацију основних процеса и квалитет производа (контрола квалитета, производња специјалних и оштрење специјалних и стандардних алата, производња уређаја и поправка опреме, производња енергије и свих врста флуида, производња и одржавање транспортних средстава). **Процеси за подршку - логистику** обезбеђују ефикасно функционисање и непрекидност основних и помоћних процеса (транспорт, манипулација, складиштење, амбалажа) на основу прикупљених и обрађених информација о стањима у производном циклусу.

Сложеност производа је један од најзначајнијих фактора који утиче на све друге факторе производње. Сваки производ се састоји из једне (једноделни) или више компоненти (сложен), при чему се под **компонентом** подразумевају сировине, материјали и делови (позиције). Део може да буде једноставан и сложен. **Једноставан део** настаје у производном систему, кроз фазе припреме и обраде, тако што се улазни материјал или сировина ( $S$ ), на коме се обавља низ технолошких операција, трансформише у **једноделни производ** ( $X$ ), намењен тржишту, или у **елемент** ( $E$ ), који улази у састав производне фазе на вишем нивоу (сложен део, сложен производ). **Сложен део** (спој, подсклоп, склоп) чини више компоненти које се кроз фазе монтаже (склапања) сједињују чинећи једну целину. **Спој** ( $SP$ ) чине два елемента, **подсклоп** ( $PSK$ ) се састоји из више елемената и спојева а **склоп** ( $SK$ ) из више елемената, спојева и подсклопова. **Сложен производ** ( $X_i$ ) чини скуп компоненти које се кроз одговарајуће производне фазе сједињују чинећи функционалну целину која има одређена својства, структуру и намену. Бројност и односи компоненти утичу на структуру  $SP$ -а. Сложен производ карактерише структура код које је број нивоа уградње компоненти већи од један.

### 3.1.1 Принципи, типови и карактеристике производње

Организација производње, у простору и времену, треба да омогући оптималну комбинацију основних, помоћних и услужних процеса у циљу израде квалитетних производа, ефикасне употребе производних ресурса и најкраћег времена трајања циклуса производње. Такође треба да почива на основним **принципима рационалне организације** као што су: специјализација, пропорционалност, паралелност, проточност, континуалност, ритмичност, аутоматизација, превенција, флексибилност, концентрација, диференцијација, стандардизација, правовременост и економије.

Пројектовање производних процеса и производног система треба да буде засновано на рационалном коришћењу наведених принципа, а одлуке на ефективности понуђених опција.

Организација производних процеса, начин припреме, планирања и управљања производњом у великој мери зависи од типа производње. Постоје три основна типа производње: појединачни, серијски (малосеријски, средњесеријски, великосеријски) и масовни. **Тип производње** зависи од низа фактора, од којих су најважнији обим производње, техничко - технолошки ниво и организација производних процеса. Припадност производње једном од типова одређује се помоћу коефицијента повезаности операција и радних места (*коефицијента серијности*)  $K_s$  који се може израчунати на два начина, релација (19):

$$K_s = \frac{N_o}{R_u} \quad \vee \quad K_s = \frac{T_e}{Q_\tau \cdot t} = \frac{n \cdot T_e}{Q_\tau \cdot \sum_{i=1}^n t_i} \quad (19)$$

где је:  $t_i$  - трајање  $i$ - те операције у технолошком процесу који има  $n$  операција.

По првом начину  $K_s$  представља однос између укупног броја технолошких операција  $N_o$  које се извршавају у производној целини у одређеном временском периоду  $\tau$  и укупног броја радних места  $R_u$  на којима се операције извршавају [8, 61, 122]. По другом начину  $K_s$  представља однос између ефективног фонда часова рада опреме  $T_e$  и просечног времена трајања операција помноженог са планираном количином производа  $Q_\tau$  у временском периоду  $\tau$  [8, 168]. У

зависности од вредности коефицијента  $K_s$  одредиће се припадност одређеном типу производње, табела 4.

Табела 4: Тип производње у зависности од коефицијента серијности  $K_s$

Р. б.	Коефицијент серијности $K_s$			Тип производње
	1	2	3	
1	$K_s = 1$	$1 \leq K_s \leq 2$	$1 \leq K_s \leq 2$	масовна
2	$2 \leq K_s \leq 10$	$3 \leq K_s \leq 5$	$2 \leq K_s \leq 10$	великосеријска
3	$11 \leq K_s \leq 20$	$6 \leq K_s \leq 20$	$11 \leq K_s \leq 20$	средњесеријска
4	$21 \leq K_s \leq 40$	$21 \leq K_s \leq 40$	$K_s \geq 21$	малосеријска
5	$K_s > 40$	$K_s > 40$	-	појединачна
6	[8, 122]	[61]	[168]	литературни извор

У зависности од типа производње (појединачни, серијски, масовни) [214] у машинској индустрији се примењују следеће методе организације производње:

- Непроточна (појединачна и серијска),
- Проточна (серијска и масовна).

**Проточни метод** је најефикаснији начин организације производних процеса, кога одликује усаглашено и ритмичко понављање технолошких операција, које се изводе у континуитету, на специјализованим радним местима која су распоређена у складу са пројектованом технологијом. Карактеристике проточне производње:

1. Организована је у складу са основним принципима рационализације;
2. Повезаност производње једног или ограниченог броја производа, делова или склопова са одређеним бројем груписаних радних места (ћелије, линије);
3. На сваком радном месту извршава се једна или мањи број технолошких операција чиме се постиже уска специјализација радних места и извршилаца;
4. Линијски распоред радних места, по технолошком процесу, чиме се постиже најкраћи пут при кретању предмета рада током обраде, контроле и транспорта;
5. Ритмичко понављање технолошких (основних), помоћних и логистичких операција почев од уласка припремка па до изласка готовог производа;
6. Висок степен континуитета при непосредној обради, на радним местима, и при кретању предмета рада, између операција, што је омогућено применом принципа пропорционалности и паралелности;

7. Употреба специјалних алата, опреме и уређаја за контролу и транспорт, чиме се постиже висок степен механизације и аутоматизације појединих операција и процеса производње у целини.

У проточној производњи користе се различита транспортна средства која служе за: транспорт делова између радних места (дистрибутивни транспортери), транспорт и извршавање технолошких операција истовремено (радни транспортери), регулисање ритма производне линије и успостављање проточности. Трајекторија по којој се креће предмет рада дефинише облик проточне линије који може бити: праволинијски, разгранат, цик-цак, у облику слова "П и Т", кружни, вишеетажни и комбиновани. Кретање предмета рада може да буде у једном или оба смера по отвореној или затвореној транспортној путањи.

Главни елемент проточног метода организације је *проточна линија*, која представља скуп радних места на којима се одвија процес израде (монтаже), једног или више делова (производа), у складу са карактеристикама проточне производње. У зависност од броја различитих артикала који се производе, начина кретања предмета рада, степена механизације технолошких операција, карактеристика ритмичности, начина кретања транспортера, положаја радног места у односу на транспортер, производне проточне линије могу бити:

- једнопредметне или вишепредметне,
- континуалне или прекидне,
- механизоване, полуаутоматске, аутоматске и флексибилне,
- са регулисаним или слободним ритмом,
- континуалне или пулсирајуће,
- дистрибутивне или радне.

*Једнопредметна проточна производна линија (JPPL)* намењена је за производњу (монтажу) једног производа у дужем временском интервалу. Примењују се у масовној и великосеријској производњи тј. када је заступљена стабилна производња, у великим количинама, на дужи рок. За евентуалну производњу другог производа потребна је реконструкција целе линије.

*Вишепредметна проточна производна линија (VPPL)* је линија на којој се истовремено или секвенцијално израђују (склапају) различити производи, који су

слични по конструкцији (дизајну) или по технологији израде односно монтаже. У зависности од производа и режима рада на линији се ангажују сва или део радних места. Углавном се користе у серијској, ређе у појединачној, производњи. Организација истовремене производње више делова на *VPPL* је изузетно сложена при чему се приоритети дефинишу на основу следећих критеријума: минимални губици времена у производном циклусу, минимални трошкови производње, минималне залихе, максимални профит, динамика испоруке итд. Оптимални ниво се постиже усклађивањем процеса уговарања (врста и количина производа, динамика испоруке) са реалним могућностима процеса производње имајући у виду, ограничења везана за маршруту и условљеност при кретању предмета рада, оптерећење радних места и могућа преклапања у оквиру производне линије.

*Континуална проточна линија (KPL)* подразумева флуидност при кретању и изради (монтажи) једног или више производа на свим технолошким операцијама. Радна места у оквиру производне линије размештена су сагласно редоследу извршавања технолошких операција. Проточност је омогућена једноставним ланцем радних места, где свакој операцији одговара једно или више радних места да би се омогућила ритмичност. По окончању израде производа на претходној операцији одмах почиње обрада на следећој и све тако редом до задње операције. Предмети рада се континуално крећу по паралелном начину организације тока редоследа операција.

*Прекидна проточна линија (PPL)* је свака производна линија код које се производи између неких операција не крећу у континуитету. У процесу производње постоје такве операције код којих се по окончању израде производа на претходној операцији чека на почетак израде на наредној. То значи да је трајање операција, упркос њиховом усклађивању, неуједначено па су застоји у процесу производње неминовни. Проточност линије и ритмичност производње је условљена критичним (најдужим) операцијама и начином транспорта предмета рада између операција. Ако транспорт није аутоматизован ради се о линији са одложеним (слободним) кретањем где долази до одступања стварног од пројектованог (технолошког) ритма.



На тип производње и ток технолошког процеса утиче више обележја. У табели 5 дате су карактеристике производње у зависности од типа производње и одабраних обележја [14, 42, 43, 78, 122, 148, 157].

Табела 5: Карактеристике производње у зависности од типа и обележја

Обележја		Тип производње		
Р.б.	Назив	Појединачни	Серијски	Масовни
1	2	3	4	5
1	Број производа	Велики	Ограничен	Мали, један
2	Поновљивост изр.	Не, изузетно	Периодично	Стално
3	Размештај опреме	Групни	Групни, линијски	Линијски
4	Повезаност операција и рад. места	Нису повезани	Делимична повезаност	Потпуна повезаност
5	Обим производње	Индивидуалне - мале	Мале, средње, велике	Веома велике
6	Цена производа	Висока	Средња	Ниска
7	Специјализација произв. целина	По технологијама	По предметима и технологијама	По предметима
8	Тражња	Тренутне	Краткорочне, средњорочне	Дугорочне
9	Разрада техничке документације	Делимична и оријентац.	Детаљна и потпуна	Веома детаљна
10	Студија времена и мерење рада	Ниво производа, искуствено	Ниво операције и захвата, методе хронометрисања	Ниво покрета, систем унапред одређ. врем.
11	Распоред места	Групни	Комбиновани - паралелни	Паралелни
12	Тип опреме	Универзална	Универзална и специјализ.	Наменска, специјализ.
13	Ниво аутоматизације	Ручни - механизован	Механизован, полуаутоматизован	Аутоматизован
14	Алат и прибор	Универзалан, стандард.	Стандардни и специјални	Специјални
15	Материјал	Стандардни	Стандардни, спец. поруцб.	Спец. поруцбине
16	Квалификација радника у произв.	Висока	Висока, средња	Средња, ниска
17	Транспортна средства	Ручни - универзална транспортна средства	Полуаутоматизован, унив. и спец. трансп. средства	Аутоматизован, спец. транспортна средства
18	Амбалажа	Приручна	Универзална и стандардна	Специјализована
19	Контрола квалитета	Ручна, по потреби потпуна контрола	Ручна, полуаутоматизована, статистичка и потпуна	Аутоматизована и континуална
20	Редоследа тока операција	Узастопни начин кретања предмета	Узастопни, комбиновани и паралелни начин кретања	Паралелни начин, ланчана производња
21	Припрема и планирање	Површно	Детаљно	Врло детаљно
22	Залихе и недоврш. производња	Разноврсне, висока вредност	Мање разноврсне и средње, оптимална вред.	Без залиха, минималне мала вредност
23	Континуитет процеса производње	Прекидни процеси	Делимично прекидни, континуални (ритмички)	Континуална-линијска производња (такт)

### 3.1.2 Појам, структура и врсте производног циклуса

Анализом обимне литературе и претходних истраживања утврђено је да постоји на десетине дефиниција помоћу којих се објашњава појам производног циклуса (*PC*). Изучавање *PC*-а у оквиру свеобухватне проблематике проучавања тока материјала захтева избор реперних тачака, почетка и завршетка, у оквиру којих тече време и одвијају се активности које прате трансформацију инпута у процесу производње. Производни циклус представља средиште и најважнији део пословних и производних активности *PPS*-а, па посматрано у том контексту реперне тачке циклуса дефинишу његове границе тако да он представља подсистем већег система који обухвата комплетан ток материјала.

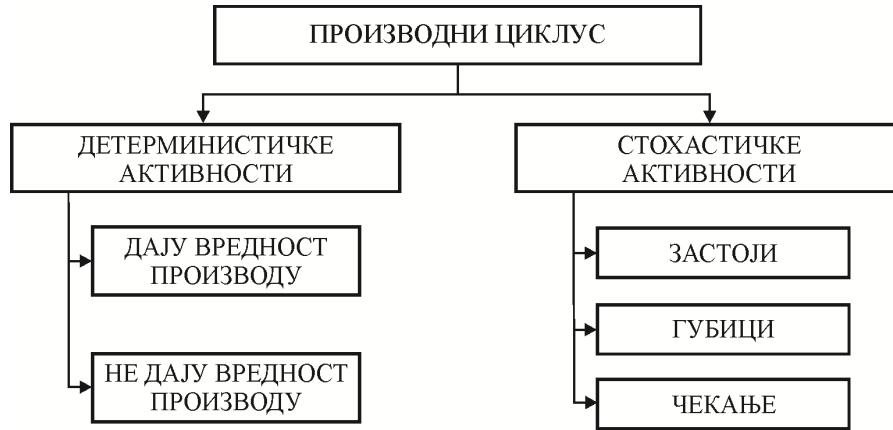
Производни циклус карактерише временска, просторна и финансијска димензија, при чему су трајање, динамика (обим и начин) везивања обртних средстава и проточност материјала, мерена одговарајућим коефицијентима, најважнији квантитативни показатељи. На основу изнетих констатација може се извести општа дефиниција *PC*-а која гласи:

*Производни циклус представља временску и финансијску димензију детерминистичких и стохастичких активности које се одвијају између унапред дефинисаних - утврђених реперних тачака које омеђавају процес производње.*

Из дефиниције произилази и **структура** *PC*-а која је на слици 6 приказана у најопштијем облику.

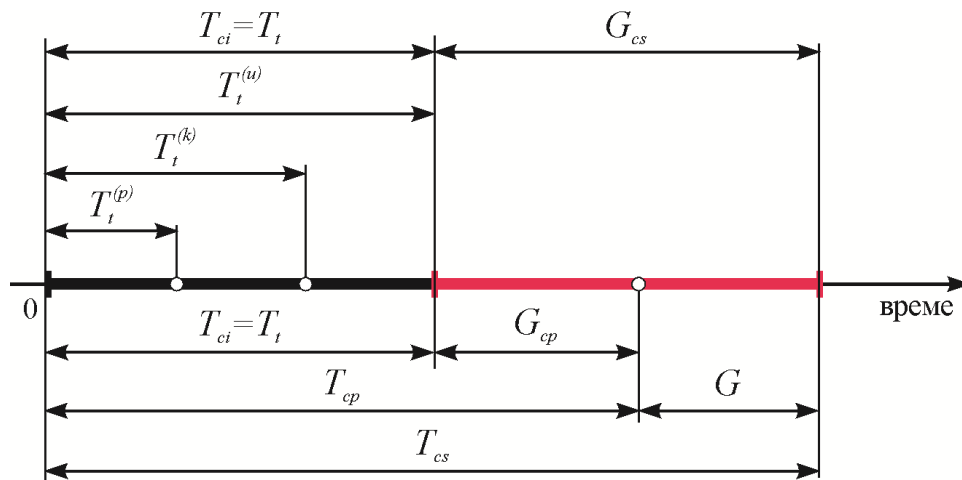
*Детерминистичке активности* чине скуп пројектованих активности које дају вредност производу (мењају облик, особине, састав, стање) и активности које не дају вредност (контрола, транспорт, природни процеси), али су неопходне у процесу производње. *Стохастичке активности* обухватају скуп нежељених активности које се односе на застоје, губитке и чекања по разним основама. Ове активности, са одређеним степеном извесности, могу се очекивати у процесу производње међутим, њихов утицај на временску и финансијску димензију *PC*-а не може се са сигурношћу предвидети.

Реперне тачке и структура *PC*-а зависе од заступљеног типа производње, нивоа разраде техничке документације, нивоа аутоматизације, степена континуитета у процесу производње, узрочника застоја и осталих карактеристика производног система.



Слика 6: Структура производног циклуса

Са аспекта теоријских разматрања, индустријске праксе и трајања разликују се три **врсте циклуса**: технолошки циклус или идеалан производни циклус ( $T_t \equiv T_{ci}, t_t \equiv t_{ci}$ ), производни (стварни) циклус ( $T_{cs}, t_{cs}$ ) и пројектовани циклус производње ( $T_{cp}, t_{cp}$ ).



Слика 7: Врсте циклуса у зависности од трајања

**Временска димензија технолошког циклуса** ( $T_t, t_t$ ) обухвата пројектована времена неопходна за извођење свих технолошких операција, производне фазе ( $t_t$ ) или сложеног производа ( $T_t$ ), на производима једне серије. Реперне тачке технолошког циклуса било које производне фазе дефинисане су почетком производње првог комада из серије, на првој операцији, и завршетком последњег комада из серије, на задњој технолошкој операцији. Реперне тачке технолошког

циклуса сложеног производа дефинишу се на идентичан начин, помоћу реперних тачака производних фаза које лимитирају његово трајање. Почетак производње везује се за прву операцију дела који је први лансиран у процесу производње а завршетак производње за последњу операцију завршне монтаже или паковања сложеног производа. Трајање технолошког циклуса израчунава се помоћу одговарајућих формула и између осталог зависи и од начина кретања предмета рада при преласку са операције на операцију: узаоступни  $(t_i^{(u)}, T_i^{(u)})$ , комбиновани  $(t_i^{(k)}, T_i^{(k)})$  и паралелни  $(t_i^{(p)}, T_i^{(p)})$ . При прорачуну трајања технолошког циклуса  $(T_i, t_i)$  не узимају се у обзир губици у циклусу  $(G_{cs}, g_{cs})$ , тако да технолошки циклус уједно представља и производни циклус  $(T_{ci}, t_{ci})$  у идеалним условима производње, без застоја у процесу производње елемената и чекања при монтажи сложених производних фаза.

За разлику од технолошког циклуса који обухвата само детерминистичке активности пројектоване технолошким поступком, **стварно трајање циклуса производње**  $(T_{cs}, t_{cs})$  обухвата и стохастичке активности (губитке) у циклусу, које представљају неминовност у процесу производње. Реперне тачке производног циклуса зависе од методе која се користи за прикупљање података о његовом трајању и ретко се поклапају са тачкама које детерминишу технолошки циклус.

Са аспекта управљања производњом, у циљу скраћења *PC*-а, актуелне су **пројектоване вредности трајања циклуса** производа и припадајућих делова  $(T_{cp}, t_{cp})$ . Оне детерминишу трајање пословних и производних активности које су неопходне да би се обавио целокупни процес производње одређене количине производа, уз минимални проток времена, максимално искоришћење производних капацитета и оптимално ангажовање обртних средстава. То значи да је укупне губитке у циклусу  $(G_{cs}, g_{cs})$  потребно смањити за одговарајуће вредности  $(G, g)$  и на тај начин их свести на пројектован (прихватљив) ниво  $(G_{cp}, g_{cp})$ . Пројектовање производних циклуса је цикличан процес са тежњом да пројектоване вредности теже оптималним уз респектовање реалних производних услова и ограничења.

### 3.2 Модели за опис сложеног производа

Полазне хипотезе дисертације захтевају разраду теоријских модела за опис структуре сложених производа заснованих на техничкој, планској и производној документацији уз примену одговарајућих правила из области теорије графова. Нестандардна терминологија у теорији графова [5, 10, 26, 29, 204, 222], са једне стране, и широка примена у многим научним дисциплинама и делатностима, са друге стране, приморава научнике да прецизно објасне појмове и терминологију која је релевантна за примену у одговарајућој области истраживања.

Појам графа има различита тумачења у електротехници, информатици, науци о организацији рада, хемији, телекомуникацијама, саобраћају. Могућност кретања возила у неком граду може се представити одговарајућим графом. Раскрснице представљају чворове графа а улице гране. У зависности од тога да ли је улица једносмерна или двосмерна одговарајуће гране у графу су оријентисане или неоријентисане. У електротехници графови описују расподелу струја у електричном колу које се састоји од генератора, отпорника, кондензатора и других електричних елемената. Сви наведени елементи имају два краја помоћу којих су укључени у поједине гране електричне мреже. Чворови мреже су тачке у којима се сустичу бар три гране мреже мада се, по потреби, могу и друге тачке у мрежи прогласити чворовима [26]. У хемији се мултиграфовима представља структура међусобних веза атома и молекула. У науци о организацији рада графови се појављују у облику *мрежа* које описују процесе планирања и реализације сложених пројеката. Графови који се називају *социограми* приказују односе између појединаца у некој групи људи. У оквиру спортских манифестација користе се графови под називом *турнири*. *Генеолошка стабла* или *родословља* су графови који описују односе између родитеља и деце. Хијерархија управљања и организовања такође се описује помоћу графова где се односи и приоритети дефинишу помоћу нивоа.

Обзиром на изнете чињенице потребно је, пре свега, изложити основне елементе теорије графова који су неопходни за моделовање структуре сложених производа. Развијени теоријски модели, у изворном или модификованом облику, треба истовремено да послуже као основа за планирање и за управљање производњом у цикличним процесима реализације поручбина.

### 3.2.1 Основе теорије графова

Приликом решавања техничких, економских, организационих и производних проблема често се полази од различитих графичких приказа и конструкција тог проблема. Уместо класичне анализе непрекидних променљивих и величина све више долазе до изражаја проблеми дискретно - комбинаторног карактера за чије решавање се користе различити графови у циљу описа проблема и изналажења прихватљивих, често и оптималних решења. Граф који одговара постављеном проблему може се на одговарајући начин приказати помоћу слике, а ограничења изразити преко неких особина самог графа чиме се омогућава његово решавање.

Тако се дошло до појма графа  $G$  који се једноставно може дефинисати помоћу скупа чворова  $V$  и једне функције  $\Gamma$  која тај скуп пресликава у самог себе. Другим речима граф  $G$  је уређен пар који се састоји од скупа чворова  $V$  и скупа грана  $E$  које су дефинисане паровима суседних чворова  $\{u, v\}$ , релација (20):

$$\begin{aligned} G &= (V, \Gamma) \mid V = \{1, 2, \dots, u, v, \dots, n\} \in N \wedge (v = \Gamma u \vee u = \Gamma v) = \\ &= (V, E) \mid V = \{1, 2, \dots, u, v, \dots, n\} \in N \wedge e = \{u, v\} \in E \end{aligned} \quad (20)$$

Из дефиниције гране  $e$  произилази да чворови графа  $u$  и  $v$  представљају њене граничне тачке или крајеве. Уколико је граф оријентисан каже се да чвор  $u$  представља почетни а чвор  $v$  завршни чвор гране  $e$ , односно грана  $e$  излази из чвора  $u$  а улази у чвор  $v$  (21):

$$e = (u, v) \in E \quad \forall u, v \in V \quad (21)$$

У графу можемо имати и гране код којих су оба краја у истом чвору. Ове гране називамо петљом, релација (22):

$$u \in V \Rightarrow e = u \in E \quad (22)$$

Чвор који нема суседних чворова назива се изолованим чвором. Граф који се састоји само од изолованих чворова (скуп грана графа је празан скуп) назива се нула граф. Једна од важних особина графа је оријентација његових грана. У зависности од тога да ли су гране неког графа оријентисане или не, граф може бити: оријентисан, неоријентисан или мешовит. Ако је граф оријентисан онда су све гране у графу дефинисане почетним и завршним чворовима. За оријентисане

графове везују се појмови: оријентисана грана (лук), пут графа, оријентисана петља и циклус графа. За сваки оријентисан граф  $G$  постоји супротан граф  $G'$  код ког су све гране супротно оријентисане у односу на граф  $G$ , релација (23):

$$G = (V, E) \text{ } (u, v) \in E \Rightarrow G' = (V, E') \text{ } (v, u) \in E' \quad (23)$$

Сваки оријентисан граф  $G$  изостављањем оријентације грана претвара се у неоријентисан  $G^*$ , релација (24):

$$u, v \in V \wedge G = (V, E) \text{ } (u, v) \in E \Rightarrow G^* = (V, E^*) \text{ } \{u, v\} \in E^* \quad (24)$$

Међутим, ако се неоријентисан граф  $G^*$  жели претворити у оријентисан  $G$  онда је сваку његову грану  $e$  потребно заменити са два супротно оријентисана лука  $e_1$  и  $e_2$ , релација (25). Слично појмовима оријентисана грана (лук), пут графа, оријентисана петља и циклус који су дефинисани за оријентисане графове, могуће је дефинисати ивицу (ребро), ланац графа, неоријентисану петљу и контуру, који важе само за неоријентисане графове. За решавање практичних проблема углавном се користе коначни графови.

$$u, v \in V \wedge u \neq v \Rightarrow e_1 = (u, v) \in E \wedge e_2 = (v, u) \in E \quad (25)$$

У теорији графова појам суседни има следеће значење:

- за два чвора  $u$  и  $v$  кажемо да су суседни уколико постоји грана  $e$  која их спаја при чему није битна оријентација гране, или је грана неоријентисана, (26):

$$u, v \in V \wedge u \neq v \Rightarrow e = (u, v) \in E \vee e = (v, u) \in E \quad (26)$$

- за две гране  $e$  и  $g$  кажемо да су суседне уколико су различите и имају бар један заједнички чвор, релација (27):

$$\begin{aligned} u, v, k \in V \wedge u \neq v \neq k \Rightarrow e = \{u, v\} \in E \wedge g = \{v, k\} \in E \\ \vee e = \{u, v\} \in E \wedge g = \{u, k\} \in E \vee e = \{u, k\} \in E \wedge g = \{v, k\} \in E \end{aligned} \quad (27)$$

Под околином  $N(u)$  чвора  $u$  графа  $G$  подразумевамо скуп свих суседа чвора  $u$ , релација (28):

$$G = (V, E) \wedge \{u, v\} \in E \Rightarrow N(u) = \{v \in V : \{u, v\} \in E\} \quad (28)$$

Степен  $d(u)$  чвора  $u$  је број његових суседа и састоји се од броја грана  $d^-(u)$  које улазе у чвор  $u$  и броја грана  $d^+(u)$  које излазе из чвора  $u$  (29):

$$d(u) = |N(u)|, \quad d(u) = d^-(u) + d^+(u) \quad (29)$$

Број грана  $d^-(u)$  које улазе у чвор  $u$  зваћемо полустепеном улазећих грана чвора  $u$ , релација (30):

$$d^-(u) = \text{card}B_u, \quad B_u = \{v \in V | (v, u) \in E\} \quad (30)$$

Број грана  $d^+(u)$  које излазе из чвор  $u$  зваћемо полустепеном излазећих грана чвора  $u$ , релација (31):

$$d^+(u) = \text{card}A_u, \quad A_u = \{v \in V | (u, v) \in E\} \quad (31)$$

Скуп  $B_u$  (релација 30) назива се претходником чвора  $u$  и представља скуп свих чворова  $v$  који су оријентисаним гранама од  $v$  повезани са чвором  $u$ . Скуп  $A_u$  (релација 31) назива се следбеником чвора  $u$  и представља скуп свих чворова  $v$  који су оријентисаним гранама од  $u$  повезани са чвором  $v$ . Најмањи  $\delta(G)$  и највећи  $\Delta(G)$  степен чвора графа  $G$  израчунаће се помоћу релације (32):

$$\delta(G) = \min_{u \in V} d(u), \quad \Delta(G) = \max_{u \in V} d(u) \quad (32)$$

Низ грана таквих да завршни чвор сваке гране истовремено представља и почетни чвор следеће гране, образује пут (ланац) графа. Пут графа можемо дефинисати и помоћу чворова преко којих пролази, при чему је  $p$  почетни чвор а  $k$  завршни чвор пута  $P_{p,k}$ , релација (33):

$$P_{p,k} = \{p, i_1, i_2, i_3, \dots, i_n, k\} = \{e_1, e_2, e_3, \dots, e_n\} = \{\{p, i_1\}, \{i_1, i_2\}, \{i_2, i_3\}, \dots, \{i_n, k\}\} \quad (33)$$

Пут у графу не дозвољава понављање чворова и грана при кретању од почетног ка завршном чвору. Растојање између почетног  $p$  и завршног  $k$  чвора који образују пут графа  $P_{p,k}$  назива се дужином пута и дефинисано је бројем грана  $d(p, k)$  које образују дати пут, релација (34):

$$P_{p,k} = (V_1, E_1) \wedge |E_1| = m_1 \Rightarrow d(p, k) = m_1 \quad (34)$$



Коначан пут (ланац) графа  $G$  код кога се почетни и завршни чворови поклапају називамо циклусом (контуром). Скуп свих растојања  $d(u, v)$  између чворова  $u, v \in V$  графа  $G$  можемо приказати у облику квадратне матрице  $R$ , реда  $(n \times n)$ , растојања између чворова, релација (35):

$$G = (V, E) \mid (u, v) \in V \wedge |V| = n \Rightarrow R = [d_{uv}], d_{uv} = d(u, v), \forall u, v = \overline{1, n} \quad (35)$$

На основу израчунатих растојања између чворова графа  $G$ , може се дефинисати:

- Ексцентрицитет  $ecc(u)$  чвора  $u \in V$  је највеће растојање од чвора  $u$  до свих осталих чворова  $v$  у графу  $G$ , релација (36):

$$ecc(u) = \max_{v \in V} d(u, v) = \max_v d_{uv}, v = \overline{1, n} \quad (36)$$

- Дијаметар (периферија)  $D(G)$  графа  $G$  је највећи ексцентрицитет  $ecc(u)$ , релација (37):

$$D(G) = \max_{u \in V} ecc(u) = \max_u \max_v d_{uv}, u = \overline{1, n} \wedge v = \overline{1, n} \quad (37)$$

- Радијус (центар)  $r(G)$  графа  $G$  је најмањи ексцентрицитет  $ecc(u)$  (38).

$$r(G) = \min_{u \in V} ecc(u) = \min_u \max_v d_{uv}, u = \overline{1, n} \wedge v = \overline{1, n} \quad (38)$$

Граф  $G$  је повезан ако постоји ланац који повезује сваки пар произвољно одабраних чворова. Повезан граф без контура називамо дрво (стабло). Однос између броја чворова и грана ма ког графа у облику дрвета дефинисан је релацијом (39):

$$|V| = n \wedge |E| = m \Rightarrow m = n - 1 \quad (39)$$

Тежински граф је уређена тројка скупова чворова  $V$  и грана  $E$ , као и тежинске функције  $w$  која свакој грани додељује тежину, релација (40):

$$G = (V, E, w) \wedge w: E \rightarrow \mathfrak{R} \quad (40)$$

Код тежинских графова  $G$  обично се разматра проблематика везана за оптимизацију у зависности од тога шта тежине  $w$  грана  $E$  означавају (дужину, цену, пропусну моћ). У већини случајева тежина графа  $w(G)$  једнака је збиру

тежина његових грана. На идентичан начин се израчунава и тежина подграфа  $w(P_{p,k})$  кога дефинише пут  $P_{p,k}$  између почетног чвора  $p$  и завршног чвора  $k$  (41).

$$w(G) = \sum_{e \in E} w(e), w(P_{p,k}) = \sum_{e \in E_1} w(e) = \sum_{i=1}^{m_1} w(e_i) \quad E_1 \subset E \wedge d(p,k) = m_1 \quad (41)$$

У пракси се често јавља проблем да се из графа  $G$  издвоји подграф  $G_1$  са унапред прецизираним својствима. У том случају избор подграфа најчешће зависи од растојања  $d(p,k)$  између чворова подграфа и тежине подграфа  $w(G_1)$ . За подскуп чворова  $C$  скупа  $V$  датог графа  $G$  можемо дефинисати гране  $E_C^-$  које улазе у подскуп  $C$  и гране  $E_C^+$  које излазе из подскупа, релација (42):

$$G = (V, E) \wedge C \subset V \Rightarrow E_C^- = \{(u, v) \in E | v \in C \wedge u \notin C\}, E_C^+ = \{(u, v) \in E | u \in C \wedge v \notin C\} \quad (42)$$

Скуп грана  $E_C$  које ограничавају подскуп чворова  $C$  дефинисаћемо помоћу (43).

$$E_C = E_C^- + E_C^+ \quad (43)$$

Ако су  $V_1$  и  $E_1$  подскупови скупова  $V$  и  $E$  графа  $G$ , подграф  $G_1$  графа  $G$  дефинисан је подскупом чворова  $V_1$  и гранама графа  $G$  чија оба гранична чвора припадају подскупу  $V_1$ , релација (44):

$$G = (V, E) \wedge V_1 \subseteq V \wedge E_1 \subseteq E \Rightarrow G_1 = (V_1, E_1), \quad \forall u, v \in V_1 \wedge \{u, v\} \in E \quad (44)$$

Два графа су једнаки међусобом ако и само ако су изоморфни. Из дефиниције увиђамо да су изоморфни графови исти графови који су различито представљени односно нацртани. Поставља се питање како задати, односно представити, граф да би се препознала и утврдила изоморфност. У вези са овим питањем недостатке показују сви наведени начини означавања графова при чему није познат одговарајући алгоритам за проверу једнакости, битно различит од непосредног проверавања. Из ове чињенице проистичу огромне тешкоће које се појављују при решавању појединих проблема. Графови  $G$  и  $G_1$  су изоморфни ако између скупова њихових чворова постоји узајамно једнозначно пресликавање при којем су суседство чворова и оријентисаност грана, између њих, сачувани. Ознаке грана и чворова као и изглед графа нису услов за изоморфност.

Мултиграфови дозвољавају да између два чвора постоји више од једне гране. Дефинишемо их као уређену тројку скупова чворова  $V$  и грана  $E$ , као и функције пресликавања  $f$  која свакој грани  $e$  додељује њен почетни и крајњи чвор (45).

$$G = (V, E, f) \wedge f : E \rightarrow V \times V, e = \{u, v\} \in E \quad (45)$$

Графови се могу употребити за моделовање и решавање многих практичних проблема у циљу изналажења прихватљивих, често и оптималних, решења. Уколико се решавају сложени проблеми изналажење оптималних решења могуће је једино применом рачунара и одговарајућих софтвера. Посматрано у том контексту сваки граф  $G$  могуће је на одређени начин приказати помоћу суседства чворова или грана. Постоје два уобичајена начина за то: помоћу листе суседства чворова и помоћу матрице суседства чворова.

За сваки чвор  $u$  графа  $G$  листа суседства чворова  $l_u$  садржи све чворове који су суседни са њим, релација (46):

$$l_u = \{v \in V : \{u, v\} \in E\} \quad (46)$$

Матрица  $A$  суседства чворова графа  $G$  је квадратна матрица реда  $|V|^2$  чији су елементи  $a_{uv}$  дефинисани на следећи начин, релација (47):

$$A = [a_{uv}], a_{uv} = 1 | \{u, v\} \in E \vee a_{uv} = 0 | \{u, v\} \notin E \quad (47)$$

Помоћу матрице  $A$  суседства чворова графа  $G$  лако се могу установити неке особине самог графа:

- за произвољно изабран чвор  $v$  полустепени улазећих  $d^-(v)$  и излазећих  $d^+(v)$  грана добијају се сабирањем елемената  $v$ -те колоне, односно  $v$ -те врсте матрице  $A$ , релација (48):

$$d^-(v) = \sum_u a_{uv} = a_{\cdot v}, d^+(v) = \sum_k a_{vk} = a_{v\cdot} \quad (48)$$

- степен  $d(v)$  чвора  $v$  једнак је збиру елемената  $v$ -тог реда и  $v$ -те колоне матрице  $A$ , релација (49):

$$d(v) = a_{\cdot v} + a_{v\cdot} \quad (49)$$

- ако граф  $G$  нема петљи, тада су сви елементи на главној дијагонали матрице  $A$  једнаки нули (50):

$$a_{uu} = 0, \forall u = 1, 2, 3, \dots, n \quad (50)$$

- транспонована матрица  $A'$ , матрице  $A$ , представља матрицу суседства супротно оријентисаног графа  $G'$  који се добија променом оријентације свих лукова графа  $G$  (51):

$$G \rightarrow G' \Rightarrow A \rightarrow A' \quad (51)$$

- ако је граф неоријентисан  $G^*$ , његова матрица суседства је симетрична (52).

$$A = A' \quad (52)$$

Матрица  $A$  суседства чворова, реда  $n$ , поседује важну особину да њени степени  $A^k$  пружају информацију о броју путева који се састоје тачно од  $k$  грана између произвољно одабраних чворова графа. Међутим, тиме се не решава и проблем идентификације ових путева, односно на тај начин не може се одредити и преко којих чворова или грана иду ови путеви. Да би смо решили овај проблем извршићемо трансформацију матрице суседства чворова  $A$ , у матрицу грана  $A_l$ , на тај начин што ћемо сваки елемент  $a_{uv}$  матрице  $A$ , за који важи  $a_{uv}=1$ , заменити ознаком  $l_{uv}$  ( $u, v = 1, 2, \dots, n$ ) док ћемо све остале елементе  $a_{uv} = 0$  ( $u, v = 1, 2, \dots, n$ ) оставити непромењеним. На тај начин добија се нова матрица  $A_l$ , реда  $n$ , чији елементи  $l_{uv}$  означавају постојање одговарајуће гране  $(u, v) \in E$  у датом графу  $G=(V, E)$ , док су јој сви други елементи једнаки нули.

Матрица инциденције лукова графа  $G$  је матрица  $S$  реда  $(|V|, |E|)$  чији су елементи  $s_{ij}$  дефинисани релацијом (53). Ако је чвор  $i$  почетни чвор гране  $e$  тада елемент  $s_{ij}$  узима вредност -1, ако је завршни чвор узима вредност 1, а уколико није ни почетни ни завршни чвор узима вредност 0.

$$G = (V, E) \Rightarrow S = [s_{ij}] (|V|, |E|), s_{ij} = -1 \vee s_{ij} = 1 \vee s_{ij} = 0 \quad (53)$$

$$G = (V, E) \Rightarrow P = [p_{ij}] (|V|, |E|), p_{ij} = 1 \vee p_{ij} = 0 \quad (54)$$

Матрица инциденције улазних лукова графа  $G$  је матрица  $P$  реда  $(|V|, |E|)$  чији су елементи  $p_{ij}$  дефинисани релацијом (54). Уколико грана  $e$  улази у чвор  $i$  елемент матрице  $p_{ij}$  узима вредност 1 у свим осталим случајевима елементи матрице

узимају вредност 0. Матрица  $P$  може се добити и на тај начин што се сви негативни елементи матрице инциденције лукова  $S$  замене нулама.

Дрвета или стабла представљају једну од најједноставнијих, али и најважнијих класа графова. Могу се посматрати у два контекста: као посебан граф (који поседује нека структурна својства), или као подграф неког повезаног графа. Дакле, они имају релативно једноставну структуру, али ипак довољно сложену да заслужују посебан третман због њихове примене у машинству, електротехници, информатици, физици, хемији итд. Повезан равански граф који има  $n$  чворова од којих је један базни (почетни), не садржи ни једну контуру, има  $n-1$  грана и у коме су свака два чвора повезана јединственим ланцем, назива се дрво. Елиминисањем било које гране постаје неповезан граф а додавањем било које гране формира се контура.

Коренска стабла представљају најважнију подкласу класе графова у коме је један чвор посебно издвојен. Издвојен чвор се назива корен стабла. У зависности од оријентације графа све чворове, који нису корен стабла, називамо преци или потомци. Уређена коренска стабла су графови у којима су деца сваког интерног чвора графички приказана по нивоима у одређеном поретку. Чворови се смештају с лева на десно, по нивоима, уз респектовање поретка. Тиме су уједно и гране графа уређене. Висина уређеног коренског стабла дефинисана је бројем нивоа. Чворове графа означавамо користећи принцип "одозго на доле" и "с лева на десно". Број оријентисаних дрвета  $k_i$  са базним чвором  $i$  у оријентисаном графу  $G$ , без петљи, израчунаћемо помоћу релације (55):

$$k_i = \det (S_i \cdot P_i') \quad (55)$$

Матрице  $S_i$  и  $P_i$  су регуларне квадратне субматрице реда  $n-1$  које се добијају изостављањем  $i$ -тог реда у матрицама  $S$  (матрица инциденције лукова) и  $P$  (матрица инциденције улазних лукова). Матрица  $P_i'$  је транспонована матрица матрице  $P_i$ . Графови су релационе структуре које се најчешће представљају цртежима у равни. Чворови графа представљају се кружићима и обележавају природним бројевима. Гране графа обележавају се малим словима, комбинацијом слова и бројева или помоћу чворова који дефинишу њихове крајеве. Гране се

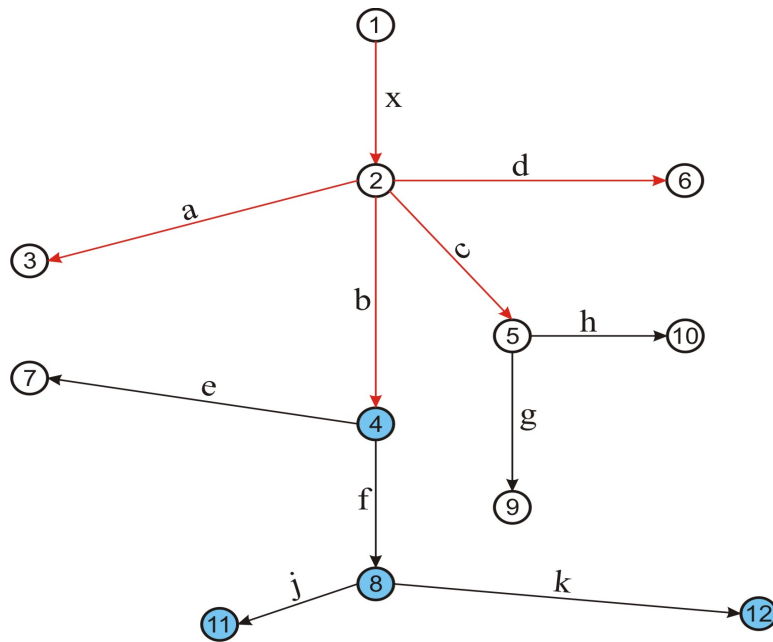
представљају непрекидним кривама између чворова који дефинишу њихове крајеве. На слици 8 приказан је оријентисан повезан равански граф  $G$  у облику дрвета који има 12 чворова, релација (56) и 11 лукова, релација (57):

$$G = (V, E), \quad V = \{1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12\} \quad (56)$$

$$\begin{aligned} E &= \{x, a, b, c, d, e, f, g, h, j, k\} = \\ &= \{\{1,2\}, \{2,3\}, \{2,4\}, \{2,5\}, \{2,6\}, \{4,7\}, \{4,8\}, \{5,9\}, \{5,10\}, \{8,11\}, \{8,12\}\} = \\ &= \{l_{1,2}, l_{2,3}, l_{2,4}, l_{2,5}, l_{2,6}, l_{4,7}, l_{4,8}, l_{5,9}, l_{5,10}, l_{8,11}, l_{8,12}\} \end{aligned} \quad (57)$$

Чвор 8 је суседан са чворовима 4, 11, и 12 а лук  $x$  са луцима  $a, b, c$  и  $d$ . Сваки оријентисан граф  $G$  у облику стабла састоји се од почетног (базног) чвора  $V^{(p)}$ , унутрашњих  $V^{(u)}$  и спољашњих чворова  $V^{(s)}$ , релација (58):

$$\begin{aligned} (\exists u) d^-(u) = 0 \Rightarrow u \in V^{(p)} \wedge \text{card} V^{(p)} = 1, (\forall u) d^+(u) = 0 \Rightarrow u \in V^{(s)} \\ (\forall u)(d^-(u) \neq 0 \wedge d^+(u) \neq 0) \Rightarrow u \notin V^{(u)}, \quad V = V^{(p)} \cup V^{(u)} \cup V^{(s)} \end{aligned} \quad (58)$$



Слика 8: Оријентисан повезан равански граф  $G=(V,E)$ ,  $|V|=12$ ,  $|E|=11$  [34]

Карактеристични путеви  $P_{1,k}$  и њихов број  $B_k$  у оријентисаном графу  $G$  у облику стабла дефинисани су помоћу почетног чвора "1" и спољашњих чворова  $V^{(s)}$ . На графу  $G$ , слика 8, може се уочити један почетни или базни чвор

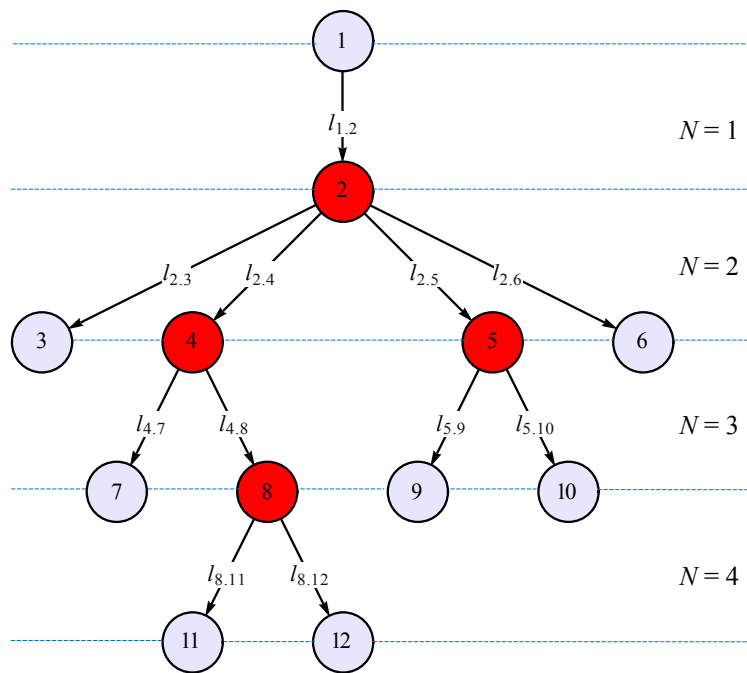
$V^{(p)} = \{1\}$ , 7 спољашњих чворова  $V^{(s)} = \{3,6,7,9,10,11,12\}$  и 4 унутрашња  $V^{(u)} = \{2,4,5,8\}$ . Почетни чвор 1 и спољашњи чворови  $V^{(s)}$  дефинишу укупно  $B_k=7$  карактеристичних путева  $P_{1,k}$  у графу, релација (59):

$$P_{1,k} = \{P_{1,j} \mid j \in V^{(s)}\}, B_k = |V^{(s)}|$$

$$P_{1,k} = \{P_{1,3}, P_{1,6}, P_{1,7}, P_{1,9}, P_{1,10}, P_{1,11}, P_{1,12}\}, B_k = 7 \quad (59)$$

На слици 9 приказан је изоморфни граф  $G_1$  графа  $G$  обзиром да међу њима постоји непобитна сличност у броју чворова и начину на који су повезани. Изоморфизам  $f$  графова на сликама 1 и 2 дат је помоћу бијекције (60):

$$f = \begin{pmatrix} x & a & b & c & d & e & f & g & h & j & k \\ l_{1,2} & l_{2,3} & l_{2,4} & l_{2,5} & l_{2,6} & l_{4,7} & l_{4,8} & l_{5,9} & l_{5,10} & l_{8,11} & l_{8,12} \end{pmatrix}, f : E \mapsto E_1 \Rightarrow G \cong G_1 \quad (60)$$



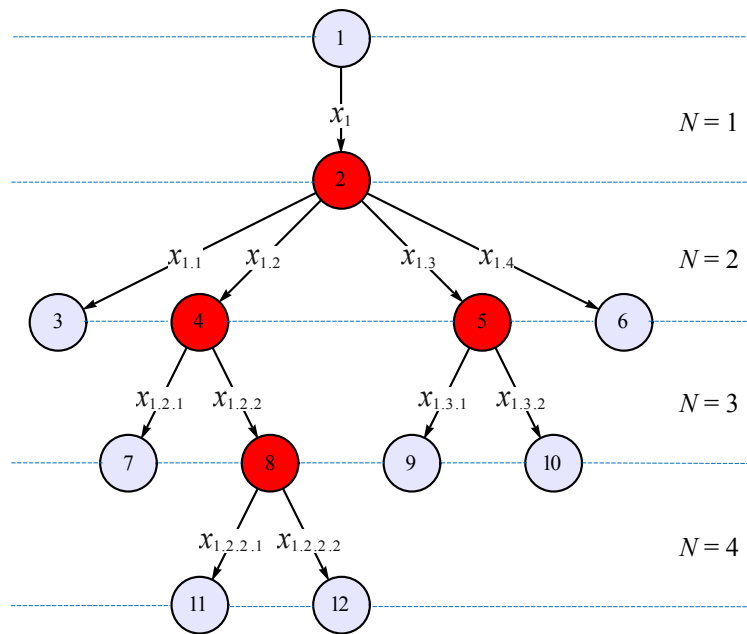
Слика 9: Изоморфни граф  $G_1=(V_1,E_1)$  графа  $G$

У складу са релацијом (60), види се да означавање оријентисаних грана нема посебног значаја за структуру графа већ се изоморфизам графова доказује помоћу других инваријанти (број чворова у графу, број грана у графу, оријентација грана, полустепени улазећих и излазећих лукова, највећи и најмањи степен чвора графа, матрица суседства, број нивоа у графу итд.) које за два графа морају да имају

идентичне вредности. Граф  $G_1$  (слика 9) једнозначно је дефинисан помоћу скупа оријентисаних грана (лукова)  $E_1$  (61):

$$G_1 = \{E_1\} = \{l_{1,2}, l_{2,3}, l_{2,4}, l_{2,5}, l_{2,6}, l_{4,7}, l_{4,8}, l_{5,9}, l_{5,10}, l_{8,11}, l_{8,12}\} \quad (61)$$

Оријентисани луци у релацији (61) дефинисани су помоћу ознаке  $l_{i,j}$  где је  $i$  ознака почетног а  $j$  ознака завршног чвора сваког лука. Једна од важних карактеристика сваког графа типа дрво јесте број нивоа у графу и скуп грана који те нивое детерминише. Посматрано у том контексту подеснији је систем означавања грана у графу  $G_2$  који је изоморфан графовима  $G$  и  $G_1$ , слика 10. Гране  $E_2$  у графу  $G_2$ , слика 10, означени су са луковима  $x_{i,j,k,\dots,m}$  при чему се ознака  $(i,j,k,\dots,m)$ , која се налази у индексу лука  $x$ , састоји од скупа природних бројева. Положај лука у графу дефинише се респектујући принцип суседства лукова и његову припадности одређеном нивоу графа.



Слика 10: Изоморфни граф  $G_2 = \{E_2\}$ , графовима  $G$  и  $G_1$

На првом нивоу ознака се састоји од једног броја ( $i$ ), на другом од два ( $i,j$ ), на трећем од три ( $i,j,k$ ), па закључно са задњим,  $n$ -тим нивоом, где ознака садржи  $n$  бројева  $(i,j,k,\dots,m)$ , међусобом одвојених зарезима или тачкама. Означавање суседних лукова на сваком нивоу врши се увек с лева на десно дописујући на ознаку суседног лука, са претходног нивоа, одговарајући број из скупа природних



бројева, почев од 1 па надаље. На пример, лук  $x_1$  са првог нивоа, слика 10, надређен је суседним луцима  $x_{1,1}$ ,  $x_{1,2}$ ,  $x_{1,3}$  и  $x_{1,4}$  који се налазе на другом нивоу, због тога што имају заједнички чвор 2. Луци са другог нивоа означени су тако што су ознаци "1", са првог нивоа, придодати бројеви из скупа природних бројева почев од 1 до 4, поштујући принцип означавања лукова са лева на десно. На идентичан начин су означене и остале оријентисане гране на трећем и четвртном нивоу тако да је граф  $G_2$  једнозначно дефинисан искључиво помоћу скупа лукова, релација (62):

$$\begin{aligned} G_2 = \{E_2\} &= \{x_1, x_{1,1}, x_{1,2}, x_{1,3}, x_{1,4}, x_{1,2,1}, x_{1,2,2}, x_{1,3,1}, x_{1,3,2}, x_{1,2,2,1}, x_{1,2,2,2}\} = \\ &= \{\{x_1\}, \{x_{1,1}, x_{1,2}, x_{1,3}, x_{1,4}\}, \{x_{1,2,1}, x_{1,2,2}, x_{1,3,1}, x_{1,3,2}\}, \{x_{1,2,2,1}, x_{1,2,2,2}\}\} = \\ &= \{\{x_1\}, \{x_{1,1}, x_{1,2}, x_{1,3}, x_{1,4}\}, \{\{x_{1,2,1}, x_{1,2,2}\}, \{x_{1,3,1}, x_{1,3,2}\}\}, \{x_{1,2,2,1}, x_{1,2,2,2}\}\} \end{aligned} \quad (62)$$

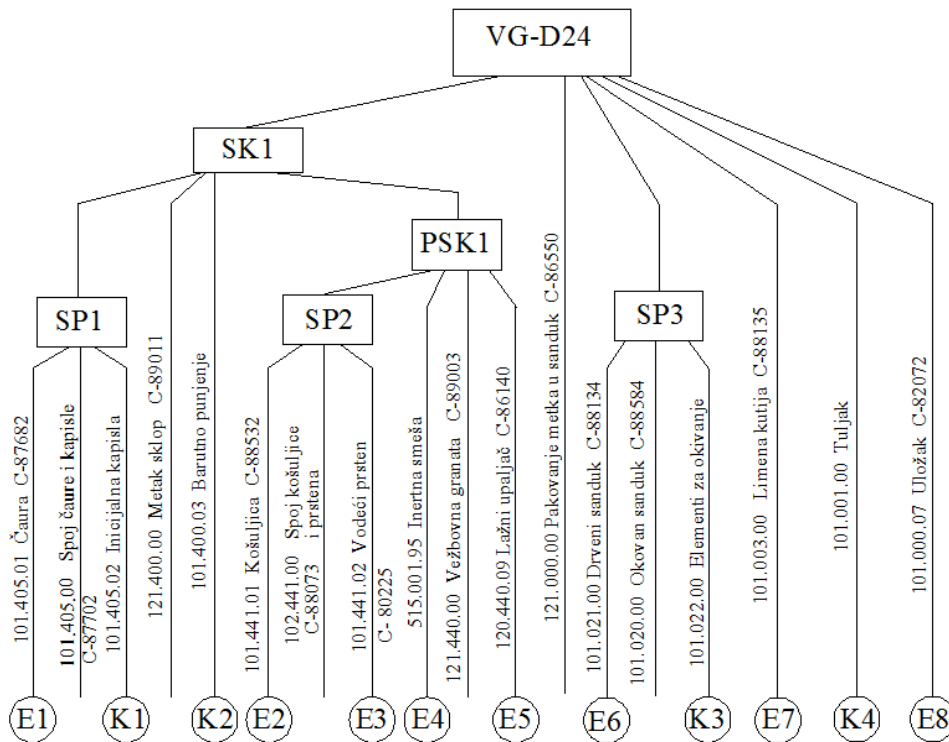
Положај лука у графу и припадност одређеном нивоу једнозначно је дефинисан помоћу његове ознаке. На пример: лук  $x_{1,3}$  припада другом нивоу са једним суседним луком  $x_1$  који се налази на првом и два суседна лука  $x_{1,3,1}$  и  $x_{1,3,2}$  који се налазе на трећем нивоу графа. У зависности од начина на који је граф  $G_2$  написан помоћу скупа лукова  $E_2$ , релација (62), кардинални бројеви скупа дефинишу укупан број лукова ( $\text{card}G_2=11$ ) и укупан број нивоа у графу ( $N=\text{card}G_2=4$ ). Обе релације, (61) и (62), једнозначно описују изоморфне графове  $G_1$  и  $G_2$  помоћу скупа оријентисаних грана. Међутим, релација (62) је погоднија за задавање графа, јер омогућава да се уочи дубина (висина) и ширина графа као и припадност грана одређеном нивоу.

### 3.2.2 Моделовање структуре сложеног производа

Развој производа подразумева скуп активности почев од израде идејног решења, стилског обликовања, дефинисања техничких и функционалних карактеристика, израде конструкционе документације, израде и испитивања прототипа, израде одговарајућих упутстава за употребу и одржавање, па закључно са праћењем производа у експлоатацији и спровођење конструкционих измена. На бази знања, уверења и захтева окружења конструктор обликује производ уважавајући, пре свега, технички, функционални, естетски, еколошки, ергономски, економски и тржишни аспект. Поред цртежа, склопова и детаља

производа, задатак конструктора је да дефинише и конструкциону саставницу (саставницу или шему рашчлањавања), односно граф структуре производа са функционалног становишта. У чворовима графа најчешће се уписују скраћене ознаке делова ( $K_i$  - делови из кооперације,  $E_i$  - елементи,  $SP_i$  - спојеви,  $PSK_i$  - подсклопови,  $SK_i$  - склопови) који чине хијерархијску структуру сложеног производа. Помоћу грана графа дефинише се припадност делова и описује се сваки део у шеми рашчлањавања одговарајућим атрибутима. Шифра дела, назив дела и број цртежа су основни атрибути који служе за његову идентификацију. У шеми рашчлањавања конструктор дефинише функционалне нивое полазећи од најједноставнијих делова-елемената, па преко спојева, подсклопова и склопова дефинише финални производ који је комерцијално доступан купцу (најчешће упакован). На слици 11 приказан је граф  $G$  конструкционе саставнице противавионског метка  $20mm$  са вежбовним пројектилом, који се налази у производном програму Компаније "Слобода" Чачак. Производ се састоји од осам елемената ( $E_i | i = \overline{1,8}$ ), четири дела из кооперације ( $K_i | i = \overline{1,4}$ ), три споја ( $SP_i | i = \overline{1,3}$ ), једног подсклопа ( $PSK_1$ ) и једног склопа ( $SK_1$ ), релација (63):

$$G = VG = \{ \{E_i | i = \overline{1,8}\}, \{K_i | i = \overline{1,4}\}, \{SP_i | i = \overline{1,3}\}, \{PSK_i | i = 1\}, \{SK_i | i = 1\} \} \quad (63)$$

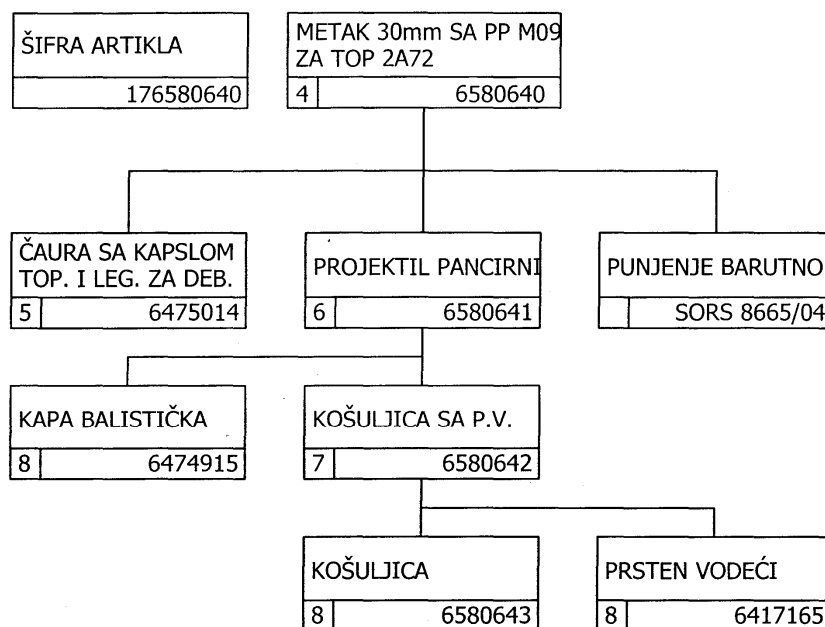


Слика 11: Конструкциона саставница (шема рашчлањавања)  $SP VG-D24$

На слици 12 приказан је део конструкционе саставнице метка 30mm са панцирним пројектилом [123]. У чворовима графа уписани су називи делова, шифре и припадност дела одговарајућем нивоу у хијерархијској шеми рашчлањавања. У шифри дела садржан је и број цртежа. Помоћу грана графа успостављена је хијерархија делова у сложеном производу и дефинисана њихова припадност.

За једнозначно дефинисање припадајућих делова ( $x$ ) производа приказаног на слици 11 коришћени су следећи атрибути: ознака ( $O$ ), назив ( $I$ ), шифра ( $\check{S}$ ) и број цртежа ( $C$ ), а на слици 12: назив ( $I$ ), шифра ( $\check{S}$ ) и ниво ( $N$ ) у графу, релација (64):

$$G(x) = \{x|O(x), I(x), \check{S}(x), C(x)\} = \{x|I(x), \check{S}(x), N(x)\} \quad (64)$$



Слика 12: Изглед хијерархијске шеме метка 30mm (део оригиналног документа)

Са аспекта планирања и управљања производњом модели структуре сложеног производа приказани на сликама 11 и 12, и описани релацијама (63) и (64), нису практични из три разлога:

1. приоритети су додељени функционалним нивоима при чему се губи осећај за временску димензију и значај појединих делова са технолошког и производног аспекта,
2. постојећи начин означавања делова једнозначно не дефинише тачан положај дела у структури производа уколико истовремено немамо увид и у графички приказ, и

3. усвојени атрибути (скраћенице, шифре, бројеви цртежа, називи) тешко се користите у математичком моделовању које представља основу за све процесе симулације.

Структура производног програма зависи од намене производа, техничко - технолошких карактеристика производног система, услова у којима се реализују процеси израде и монтаже делова, заступљених технологија и технологичности која је израз квалитета технолошких процеса.

Основу индустријског начина производње поред цртежа и шеме рашчлањавања чини још технолошка, планска и производна документација.

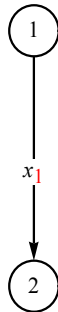
Обликовање структуре  $SP$ -а са функционалног аспекта најчешће не одговара идејама и концепцији технолога који мора да уважава принципе економичности, расположиве ресурсе, могућности и услове израде, квалитет и количине које треба произвести у одређеном временском интервалу. Приликом разраде технолошких процеса технолог реализује своје идеје прилагођавајући се расположивим производним технологијама и другим ограничењима у процесу производње, не реметећи основну функцију производа.

Све производне активности засноване су на технолошком процесу при чему степен разраде технолошких поступака зависи од типа производње. У појединачној производњи технолошки поступци углавном садрже производне операције које се односе на промену облика и особина предмета рада тако да су дефинисани само основни производни процеси. Што је процес производње масовнији степен детаљисања технолошких поступака је већи, тако да је основним и помоћним операцијама обухваћен комплетан процес производње (основни, помоћни – контрола и процеси за подршку - транспорт).

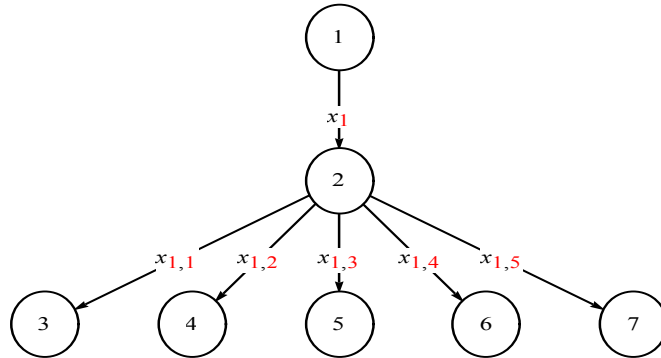
Производни програм фабрике  $P$  чини скуп сложених производа  $X_i$  и делова  $x_j$ , при чему су процеси израде и монтаже одговарајућих производних фаза дефинисани скупом технолошких поступака. Да би се дефинисао логичан однос између процеса производне фазе треба означити сходно релацији (62), почевши од технолошког поступка за завршну монтажу и/или паковање производа  $x_i$  па надаље, закључно са поступцима за израду елемената  $x_{i,j,k,\dots,m}$ , релација (65):

$$P = \{(X_i, x_j) | j, i \in N\}, \quad X_i = \{x_i, x_{i,j}, x_{i,j,k}, \dots, x_{i,j,k,\dots,m}\} \quad (65)$$

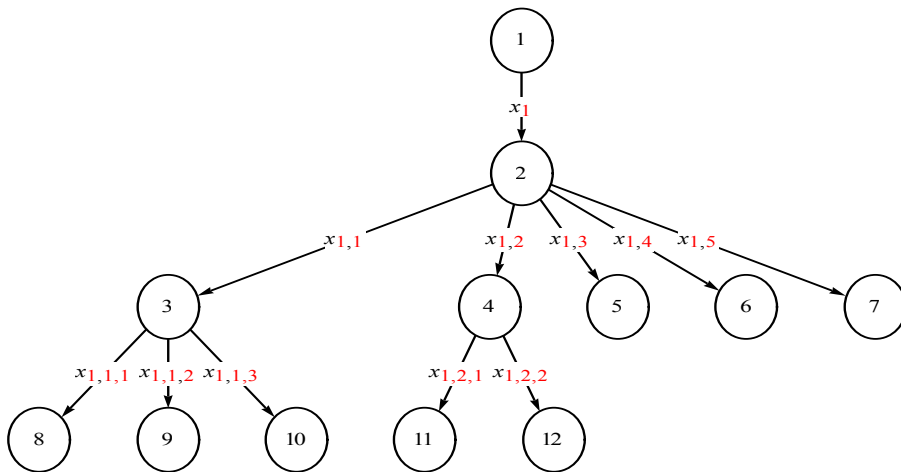
Граф описан скупом производних фаза  $X_i$  у коме су дефинисани односи између пројектованих технологија у процесу производње назва се **граф технолошке структуре SP**. Граф има изглед уређеног коренског стабла у коме гране графа представљају истовремено и технолошке процесе који су чворовима графа повезани тако да чине логичку вишенивовску хијерархијску структуру оријентисану од првог ка последњем нивоу. Поступак конструисања оријентисаног графа технолошке структуре сложеног производа  $VG - D24$  који је приказан на слици 11, по нивоима  $N = \overline{1,5}$ , приказан је на сликама 13-17.



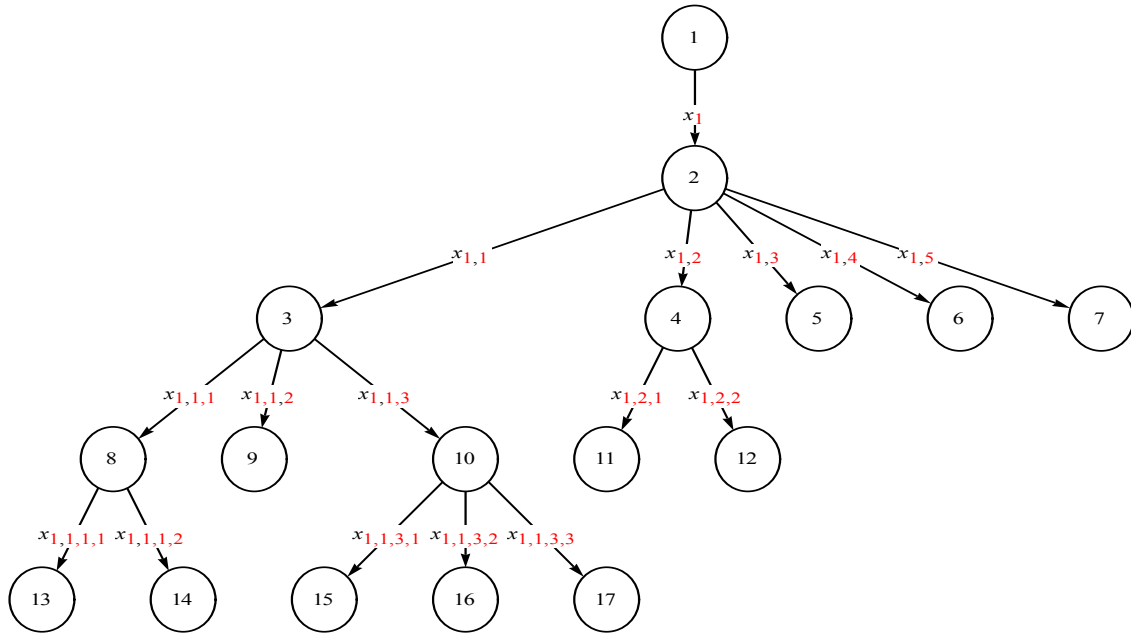
Слика 13: Изглед подграфа технолошке структуре  $VG-D24$ ,  $N = 1$



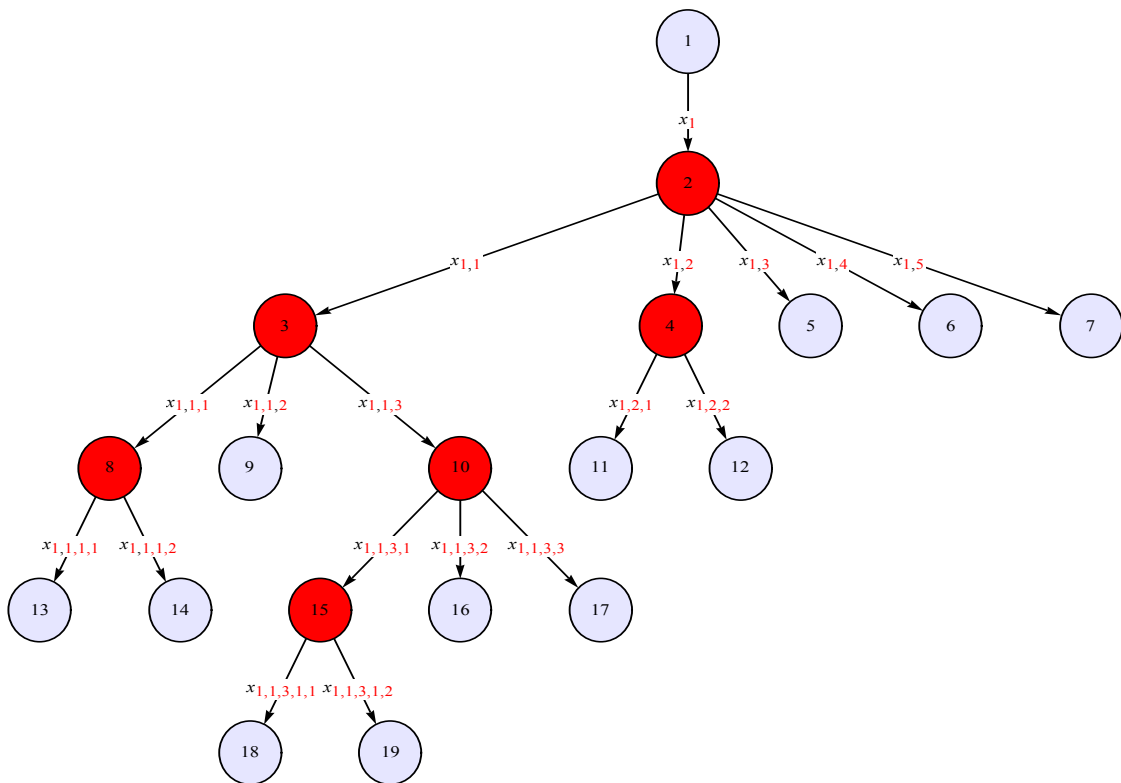
Слика 14: Изглед подграфа технолошке структуре  $VG-D24$ ,  $N = \overline{1,2}$



Слика 15: Изглед подграфа технолошке структуре  $VG-D24$ ,  $N = \overline{1,3}$



Слика 16: Изглед подграфа технолошке структуре  $VG-D24$ ,  $N = \overline{1,4}$



Слика 17: Оријентисан граф технолошке структуре  $VG-D24$ ,  $N = \overline{1,5}$

Укупно 18 производних фаза дефинисано је са 18 технолошких процеса који су са 19 чворова повезани у 5 хијерархијских нивоа, слика 17.

Граф технолошке структуре сложеног производа *VG-D24* једнозначно је дефинисан помоћу скупа  $X_1$  производних фаза, релација (66).

$$X_1 = \{\{x_1\}, \{x_{1.1}, x_{1.2}, x_{1.3}, x_{1.4}, x_{1.5}\}, \{\{x_{1.1.1}, x_{1.1.2}, x_{1.1.3}\}, \{x_{1.2.1}, x_{1.2.2}\}\}, \\ \{\{x_{1.1.1.1}, x_{1.1.1.2}\}, \{x_{1.1.3.1}, x_{1.1.3.2}, x_{1.1.3.3}\}, \{x_{1.1.3.1.1}, x_{1.1.3.1.2}\}\} \quad (66)$$

На првом нивоу  $N = 1$  графа приказана је производна фаза за паковање метка  $x_1$  (слика 13), која је по хијерархији надређена фазама за монтажу метка  $x_{1.1}$ , окивање сандука  $x_{1.2}$  и за израду елемената за паковање: лимене кутије  $x_{1.3}$ , туљка  $x_{1.4}$  и улошка  $x_{1.5}$  (слика 14), који су приказани на другом нивоу графа  $N = 2$ . На трећем нивоу  $N = 3$  (слика 15) приказано је 5 производних фаза, од чега су три: спој чауре и капсуле  $x_{1.1.1}$ , барутно пуњење  $x_{1.1.2}$  и вежбовна граната  $x_{1.1.3}$  повезани са монтажом метка  $x_{1.1}$  а дрвени сандук  $x_{1.2.1}$  и окови  $x_{1.2.2}$  за процес окивања сандука  $x_{1.2}$ . На четвртном нивоу  $N = 4$  (слика 16) приказано је такође 5 фаза, од чега су две: чаура  $x_{1.1.1.1}$  и иницијална капсула  $x_{1.1.1.2}$  повезани са надређеном фазом спој чауре и капсуле  $x_{1.1.1}$  а три: спој кошуљице и водећег прстена  $x_{1.1.3.1}$ , инертно пуњење  $x_{1.1.3.2}$  и лажни упаљач  $x_{1.1.3.3}$  за процес монтаже вежбовне гранате  $x_{1.1.3}$ . На петом, задњем, нивоу  $N = 5$  графа (слика 17) приказана су два технолошка процеса за две производне фазе отпресак кошуљице  $x_{1.1.3.1.1}$  и водећи прстен  $x_{1.1.3.1.2}$ .

Може се закључити да је граф технолошке структуре дефинисан скупом технолошких поступака распоређених у оквиру " **$N$  нивоа**", односно скупом технолошких процеса помоћу којих се реализује целокупан процес производње. Трансформација материјала, делова из кооперације и полуфабриката у сложен производ обавља се кроз одговарајуће производне фазе у оквиру којих технолошки процеси могу да буду независни, делимично зависни или условљени.

Ако се у графу технолошке структуре уведе "**нулти ниво**" ( $N=0$ ), тада се добије граф који поред процеса производње обухвата и процесе складиштења и отпреме готове робе. Уколико се уведе " **$N+1$ . ниво**", тада се добије граф, који поред процеса производње, описује и процесе снабдевања и складиштења са

одговарајућим инпутима. Граф који садржи " **$N+2$  нивоа**" описује комплетан ток материјала почев од процеса снабдевања па закључно са отпремом.

На графу технолошке структуре  $SP$  (слика 17) може се уочити један почетни чвор  $V^{(p)} = \{1\}$ , 12 спољашњих чворова  $V^{(s)} = \{5,6,7,9,11,12,13,14,16,17,18,19\}$  и 6 унутрашњих  $V^{(u)} = \{2,3,4,8,10,15\}$ . Укупан број производних фаза  $B_{pf}$  добија се сабирањем елементарних  $B_{pf}^{(e)}$  и сложених  $B_{pf}^{(s)}$ . Уколико упоредимо технолошку документацију са графом технолошке структуре  $SP$  може се констатовати да број спољашњих чворова одговара броју елементарних производних фаза ( $EPF$ ) односно, број унутрашњих чворова је идентичан са бројем сложених производних фаза ( $SPF$ ), релација (67). На слици 17 нацртан је граф технолошке структуре  $SP$  код кога је број технолошких поступака (процеса)  $B_{tp}$  идентичан броју производних фаза  $B_{pf}$ . Међутим, у производној пракси индустријских предузећа често је заступљен вишеваријантни приступ производњи по разним основама. Тада је укупан број технолошких поступака већи од укупног броја производних фаза (67), што подразумева да је за производњу једног или више делова  $SP$  пројектовано више алтернативних технолошких решења.

$$B_{pf} = B_{pf}^{(e)} + B_{pf}^{(s)} = |V^{(s)}| + |V^{(u)}| = |V| - 1 = |E|, \quad B_{tp} \geq B_{pf} \quad (67)$$

Алтернативе су могуће по више основа:

- различити инпути у процесу производње (разноврсни материјали, материјали или полуфабрикати),
- различите технологије (производни процеси за одређен део се у потпуности разликују по броју и редоследу извршавања технолошких операција и заступљеним средствима за рад),
- различите машине или опрема на појединим технолошким операцијама у оквиру јединственог технолошког процеса (алтернативе су могуће по типу машина, продуктивности, врсти обраде, врсти заштите итд.),
- просторни аспект (ангажовање алтернативних организационих целина).

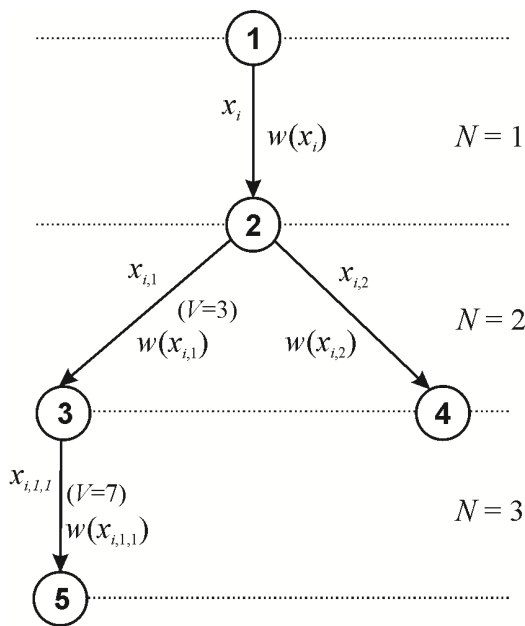
Претпоставимо да се  $i$ -ти сложен производ  $X_i$  састоји из два елемента  $E_1$  и  $E_2$ . Оба елемента се израђују технологијом резањем, при чему се елемент  $E_1$



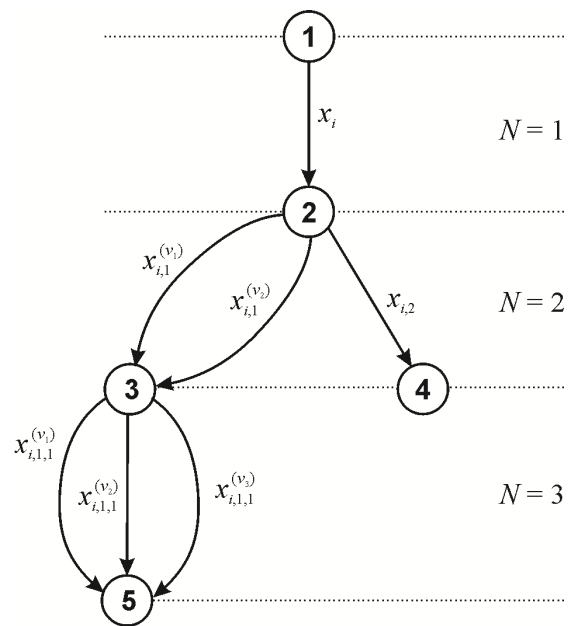
производи од полуфабриката (отпреска) а елемент  $E_2$  од материјала. Ако за израду отпреска постоје три а за његову дораду, у елемент  $E_1$ , два алтернативна технолошка поступка, структура сложеног производа са функционалног и технолошког аспекта описаће се помоћу релације (68).

$$X_i = \{E_1, E_2\}, X_i = \{x_1, x_{1.1}, x_{1.2}, x_{1.1.1}\} = \left\{ x_1, \left\{ x_{1.1}^{v1}, x_{1.1}^{v2} \right\}, x_{1.2}, \left\{ x_{1.1.1}^{v1}, x_{1.1.1}^{v2}, x_{1.1.1}^{v3} \right\} \right\} \quad (68)$$

Са функционалног аспекта  $SP$  је описан помоћу скупа који садржи два елемента,  $E_1$  и  $E_2$ . Са технолошког аспекта може се описати помоћу четири производне фазе: монтажа  $SP$   $x_1$ , израда првог елемента  $x_{1.1}$  од полуфабриката, израда другог елемента  $x_{1.2}$  од материјала и израда полуфабриката (отпреска)  $x_{1.1.1}$ , слика 18, или помоћу скупа који садржи 7 технолошких поступака, слика 19. У конструкционој саставници сложеног производа хијерархија се описује са два нивоа а у графу технолошке структуре са три, слике 18 и 19.



Слика 18: Граф техн. структуре  $SP$



Слика 19: Мултиграф тех. структуре  $SP$

Обзиром да многе особине графа зависе управо од начина на који се граф приказује, за опис структуре  $SP$  користиће се уређена коренска стабла, слика 18. У зависности од проблематике која се решава, вишеваријанта технолошка решења обухватиће се преко одговарајућих тежинских функција, релација (69).

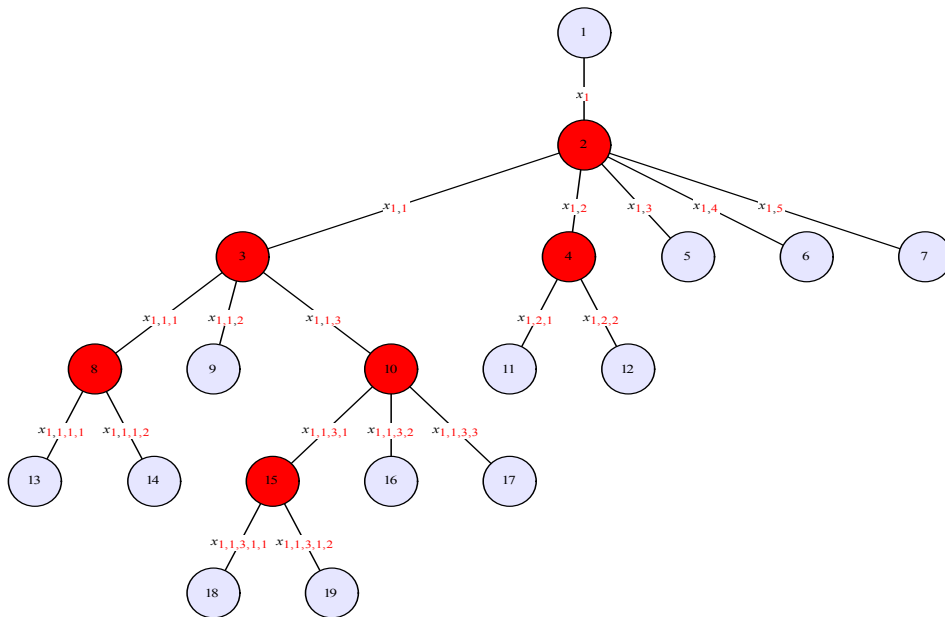
$$w(x_{1.1}) = \{w(x_{1.1}^{v1}), w(x_{1.1}^{v2}), w(x_{1.1}^{v1,v2})\} \Rightarrow V = 3$$

$$w(x_{1.1.1.1}) = \{w(x_{1.1.1.1}^{v1}), w(x_{1.1.1.1}^{v2}), w(x_{1.1.1.1}^{v3}), w(x_{1.1.1.1}^{v1,v2}), w(x_{1.1.1.1}^{v1,v3}), w(x_{1.1.1.1}^{v2,v3}), w(x_{1.1.1.1}^{v1,v2,v3})\} \Rightarrow V = 7 \quad (69)$$

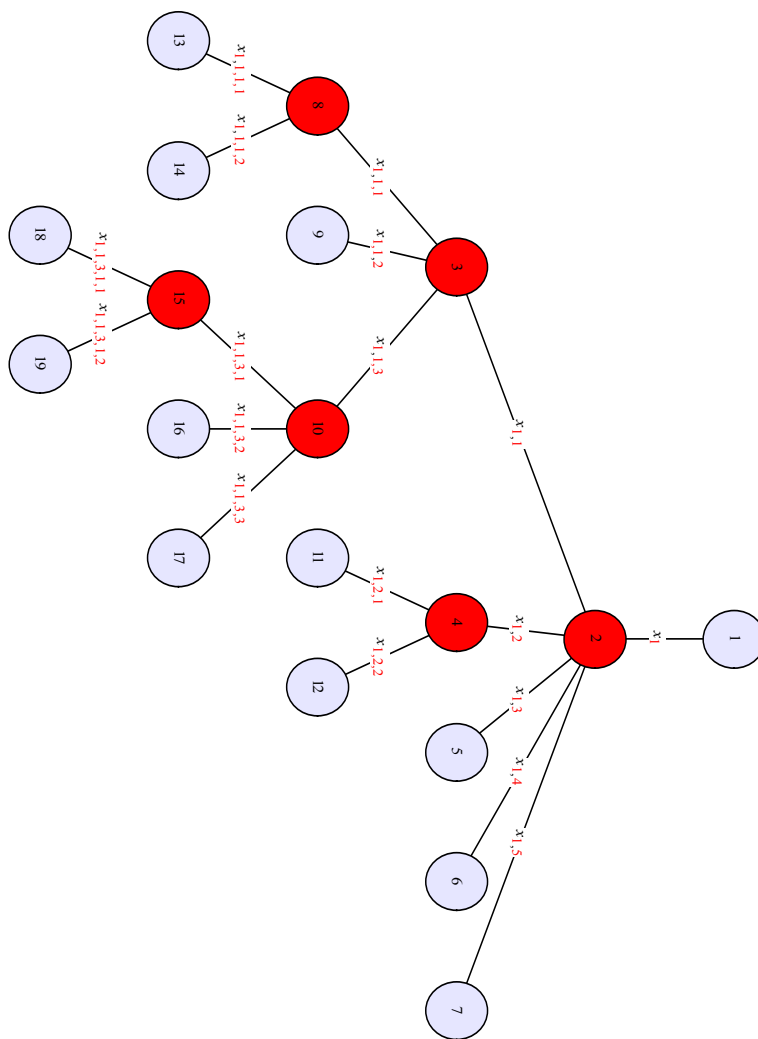
Кратки рокови за реализацију поруџбина и уска грла у процесу производње најчешћи су разлози за пројектовање алтернативних технолошких поступака. Међутим, планирање и управљање производњом се вишеструко усложњава због тога што је изналажење оптималних решења, услед великог броја алтернатива, практично немогуће без коришћења одговарајућих модела и софтвера за динамичко уравнотежење и управљање [34]. На пример, за израчунавање тежине грана графа (68) на путу од 1. до 5. чвора, сходно релацији (41), стоји нам на располагању укупно 21 алтернатива, што је изузетно велики број имајући у виду сложеност производа, слике 18 и 19.

Граф технолошке структуре, приказан на сликама 10, 17, 18 и описан помоћу релација (62), (65) и (66), послужиће као основа за моделовање процеса у циљу планирања количина производних фаза које чине структуру сложеног производа.

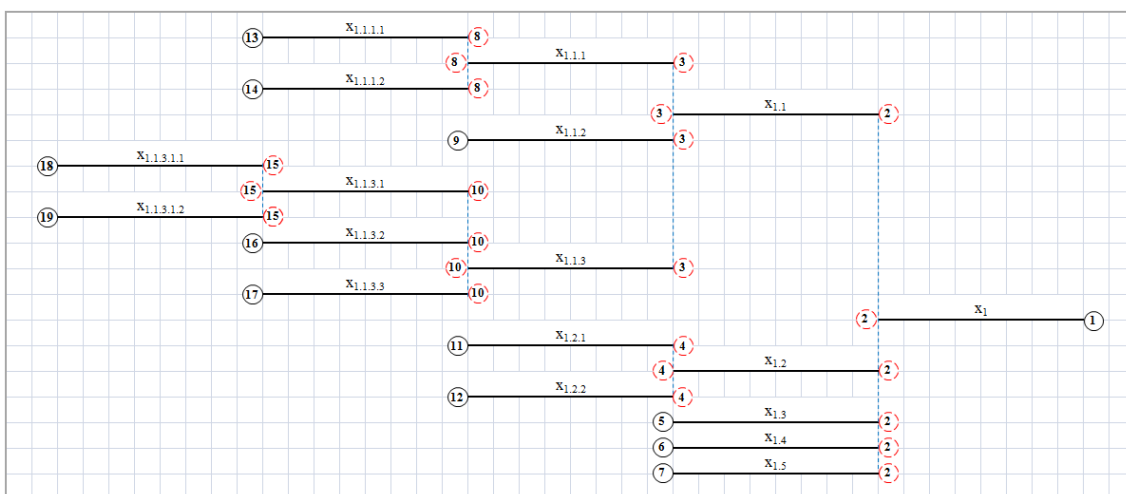
У циљу управљања производним циклусом сложених производа користи се неоријентисан граф технолошке структуре, слика 20. Трансформацијом овог графа у скуп међусобом паралелних грана омеђених чворовима, слика 22, ствара се основа за примену гантових дијаграма у овој области, слика 23.



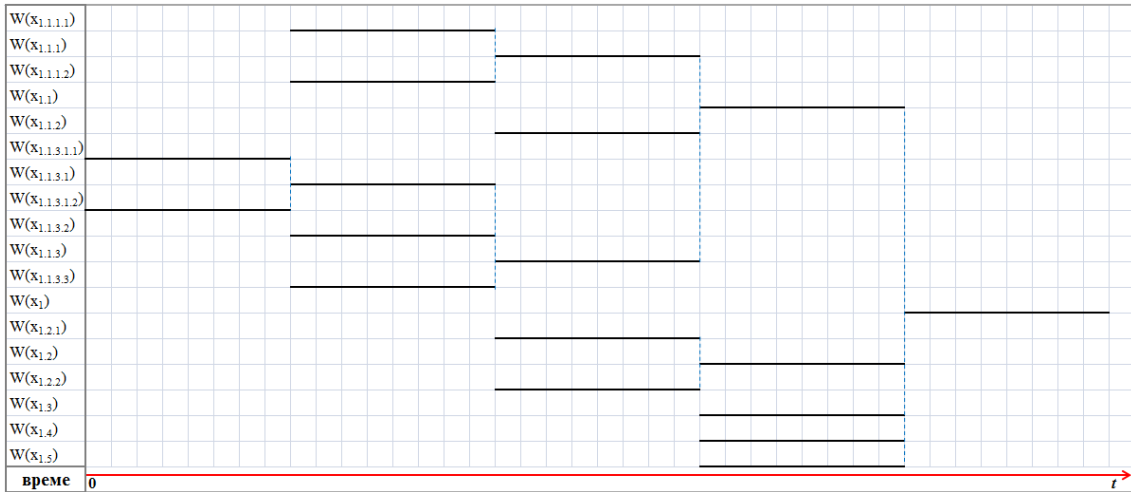
Слика 20: Неоријентисан граф технолошке структуре *SP VG-D24*



Слика 21: Ротиран граф технолошке структуре  $VG-D24$  за  $90^\circ$  удесно

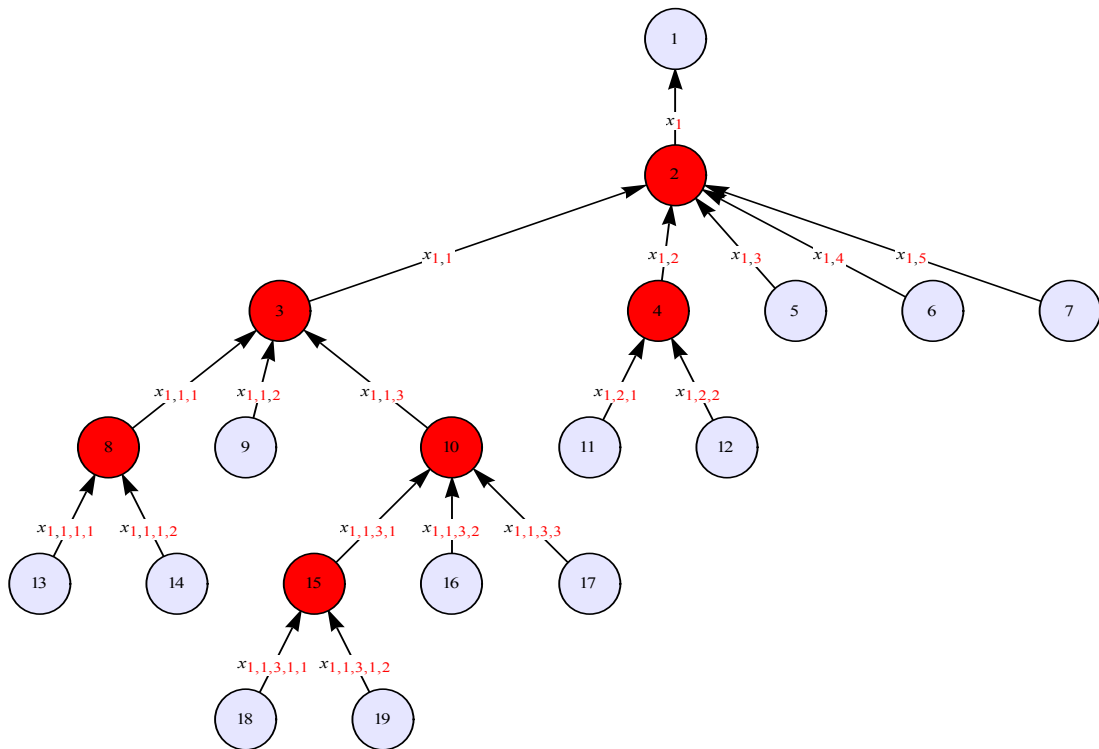


Слика 22: Скуп производних фаза  $VG-D24$  растављених у унутрашњим чворовима



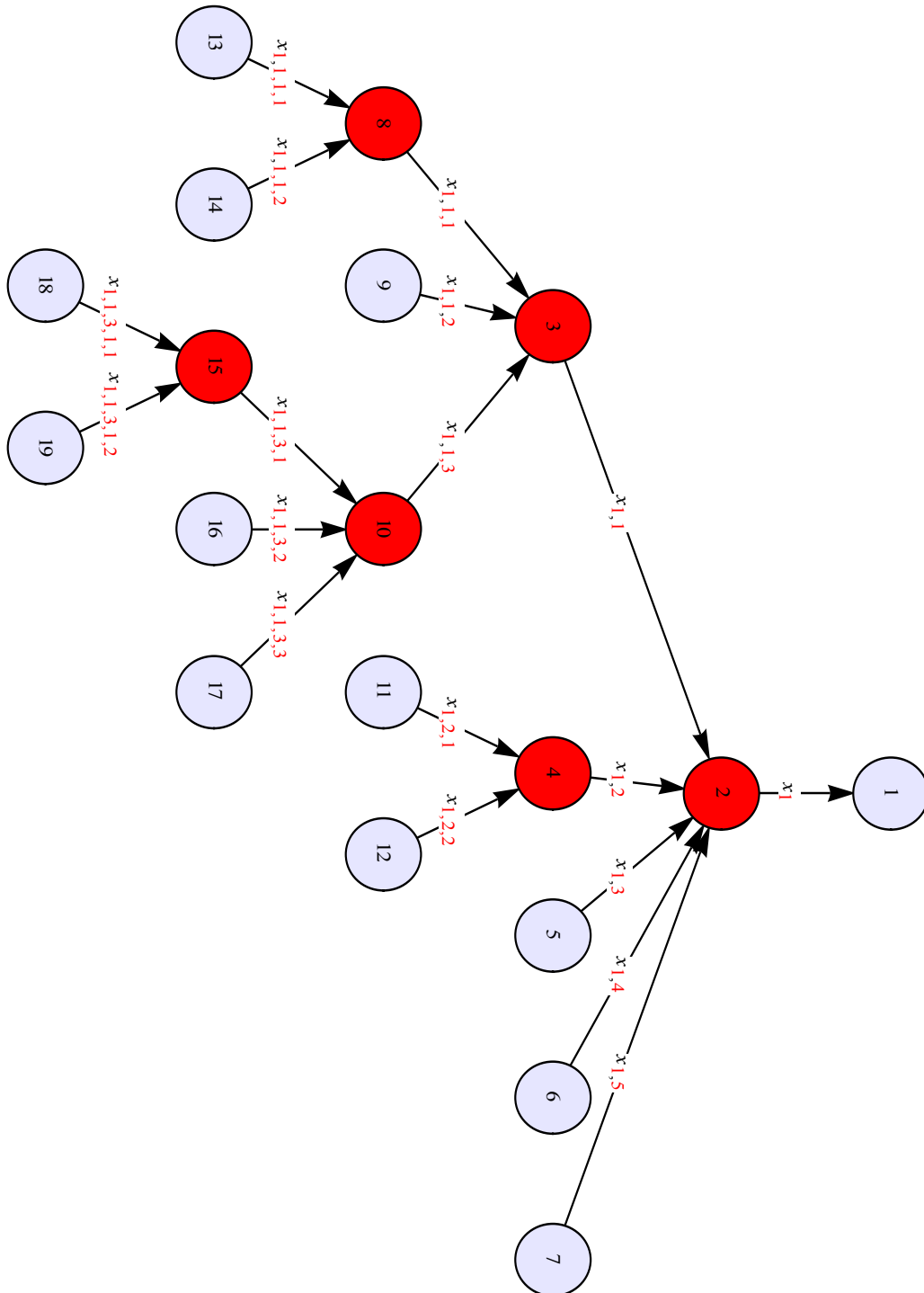
Слика 23: Основа за примену гантових дијаграма

Неоријентисан граф (слика 20) треба прво заротирати за  $90^\circ$  у десно (слика 21) а затим га треба раставити у унутрашњим чворовима не реметећи при том положај производних фаза у структури графа (слика 22). Почетни и спољашњи чворови задржавају идентичну позицију као у ротираном графу при чему се сваки унутрашњи чвор  $u$  трансформише у више чворова чији је број сразмеран степену  $d(u)$  сваког унутрашњег чвора.

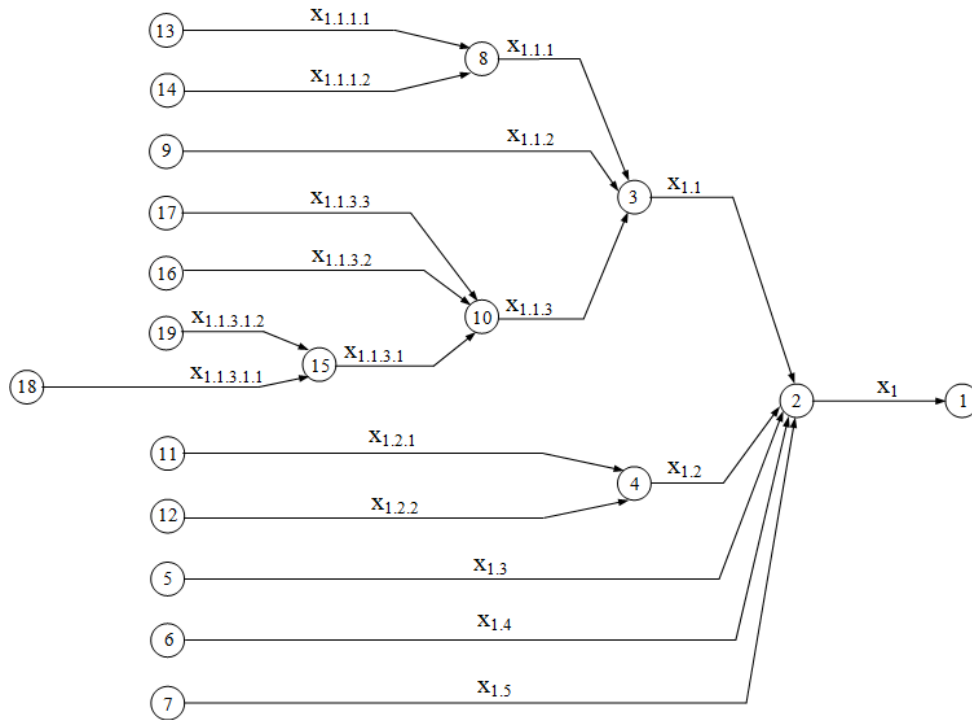


Слика 24: Супротно оријентисан граф технолошке структуре  $SP VG-D24$

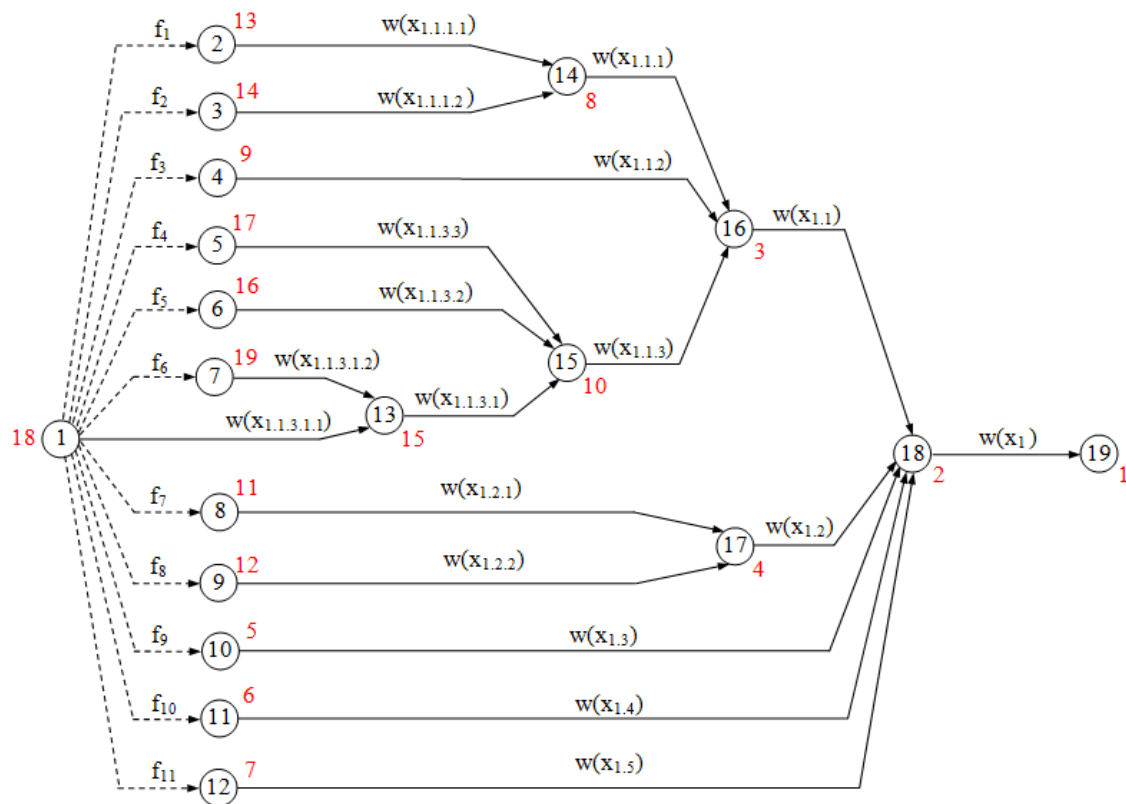
За управљање производњом сложених производа може се користити и супротно оријентисан граф технолошке структуре (слика 24) од графа технолошке структуре (слика 17). Трансформацијом овог графа у скуп зависних активности, спојених догађајима, ствара се основа за примену мрежних графова и пројектног приступа у области управљања производним циклусима.



Слика 25: Супротно оријентисан граф *SP VG-D24* ротиран за 90° удесно



Слика 26: Супротно оријентисан граф  $SP$  са груписаним спољашњим чворовима



Слика 27: Граф  $SP$   $VG-D24$  приказан у облику мреже

Трансформација супротно оријентисаног графа (слика 24) у мрежу изводи се на следећи начин. Прво се граф заротирати за  $90^\circ$  у десно (слика 25) а затим се сви спољашњи чворови, осим једног, групишу у оквиру предзадњег нивоа графа посматрано у односу на почетни чвор "1", слика 26. Издвојен спољашњи чвор "18" приказан је сам на последњем нивоу ротираног графа, у односу на почетни чвор, и налази се на критичном путу јер задовољава унапред задате критеријуме који се односе на решавање екстремних путева у мрежи. Ако се издвојен спољашњи чвор споји фиктивним активностима ( $f_1 - f_{11}$ ) са осталим спољашњим чворовима у графу, гране графа трансформишу у активности а чворови у догађаје, добиће се граф  $SP$  у облику мреже, слика 27. Активностима у мрежи додељене су одговарајуће тежине.

На основу спроведених истраживања на тему моделовања  $SP$ , уз уважавање основних елемената теорије графова, могу се извести следећи закључци:

- Модели  $SP$  засновани искључиво на конструкционој документацији и атрибутима које користи конструктор (слике 11 и 12) су непрактични и не могу се користити у области истраживања производних циклуса  $SP$ . Такође треба истаћи да број делова који чине структуру  $SP$  најчешће не одговара броју производних фаза које су дефинисане технолошком документацијом.
- Респектујући технолошки и производни аспект модел  $SP$  је описан помоћу скупа технолошких процеса, релације (62), (65) и (66). Процеси су означени тако да је могуће лако утврдити њихов положај у хијерархијској структури.
- Модел  $SP$  може се приказати и помоћу графа технолошке структуре. У зависности од намене граф може бити оријентисан (слика 17), неоријентисан (слика 20) и супротно оријентисан (слика 24).
- Граф технолошке структуре има изглед уређеног коренског стабла у коме гране графа чине вишенивовску хијерархијску структуру. Гранама графа представљене су производне фазе помоћу којих се врши трансформација инпута у  $SP$ . Гране су повезане чворовима тако да чине логичну целину којом се описује след заступљених процеса у производном циклусу. Чворова у графу има за 1 више од производних фаза.
- Скуп чворова у графу технолошке структуре чини један почетни и више унутрашњих и спољашњих, релација (58). Број спољашњих чворова указује

- на број елементарних производних фаза (елемената), а унутрашњих на број сложених производних фаза (склапање, монтажа).
- Приказани начини моделовања  $SP$  омогућавају његово представљање у облику матрице суседства чворова и матрице суседства грана графа. Тиме је омогућена примена рачунара при решавању сложених проблема.
  - Ако се модел  $SP$  прошири са "нултим" и " $N+1$ . нивоом" тада су поред процеса производње у разматрање укључени и процеси снабдевања и отпреме.
  - Ако се помоћу тежинске функције свакој грани графа технолошке структуре додели одговарајућа тежина, модели  $SP$  могу се употребити за решавање практичних проблема из планирања и управљања производњом.
  - Ако су гране графа оријентисане од почетног ка спољашњим чворовима тада се говори о оријентисаном графу технолошке структуре. Приоритети су додељени сложеним производним фазама, почев од завршне монтаже и паковања  $SP$ , па надаље, (слике 13-17). Модел  $SP$  у овом облику погодан је за процес планирања.
  - Уколико су гране оријентисане почев од спољашњих чворова, па надаље ка почетном чвору, тада се говори о супротно оријентисаном графу технолошке структуре (слика 24). Приоритети су додељени елементарним производним фазама тако да је модел, уз описану трансформацију у мрежни дијаграм, погодан за управљање производним процесима.
  - У неоријентисаном графу технолошке структуре гране графа немају оријентацију, слика 20. Уз описан алгоритам трансформације овај модел  $SP$  је погодан за управљање производним процесима помоћу гантових дијаграма.

### 3.3 Модели за прорачун количина производних фаза

На основу анализе претходних истраживања (тачка 1.3) установљено је да трајање технолошког, пројектованог и производног (стварног) циклуса, између осталог, зависи и од величине производне серије, релације (2), (3), (6) – (12). Такође је констатовано да се помоћу скупа производних фаза, релација (65), може описати било који сложен производ  $X_i$ , који се налази у производном програму фабрике  $P$ . Ако се количина сложеног производа  $X$  означи са  $Q$  тада, по аналогiji са релацијом (65), може се извести закључак да је количина  $Q$  у потпуности



дефинисана количинама свих производних фаза ( $PF$ ) које чине граф технолошке структуре  $SP$ , и обрнуто, релација (70).

$$Q = \{q_i, q_{i,j}, q_{i,j,k}, \dots, q_{i,j,k,\dots,m}\} \quad (70)$$

На процес планирања количина  $PF$ -а (компонентни план) утичу тржишне, технолошке и производне променљиве. Уговорена количина сложеног производа  $Q$  представља **тржишну променљиву** која се везује за "нулти ниво" графа  $SP$ .

Количине  $PF$ -а са претходног нивоа ( $q_{i,j,k}$ ) и количине  $PF$ -а које се по нормативу уграђују у први надређени ниво ( $n_{i,j,k}$ ) представљају две **технолошке променљиве** које зависе од положаја  $PF$ -е у графу технолошке структуре  $SP$ , релација (71). Ако се, на пример,  $PF$  налази на  $k$ - том нивоу ( $N = k$ ), тада је  $N = k-1$  први надређени или претходни ниво у графу.

$$\{q_i, q_{i,j}, q_{i,j,k}, \dots, q_{i,j,k,\dots,m}\} \wedge \{n_i, n_{i,j}, n_{i,j,k}, \dots, n_{i,j,k,\dots,m}\} \quad (71)$$

Губици у процесу производње по основу квалитета ( $\check{s}_{i,j,k}$ ) и залихе у недовршеној производњи (залихе у складишту  $q_{i,j}^{(m)}$ , залихе у радним налозима  $q_{i,j}^{(rn)}$ ) представљају три **променљиве производног процеса**, релација (72).

$$\{\check{s}_i, \check{s}_{i,j}, \check{s}_{i,j,k}, \dots, \check{s}_{i,j,k,\dots,m}\} \wedge \{q_i^{(m)}, q_{i,j}^{(m)}, q_{i,j,k}^{(m)}, \dots, q_{i,j,k,\dots,m}^{(m)}\} \wedge \{q_i^{(rn)}, q_{i,j}^{(rn)}, q_{i,j,k}^{(rn)}, \dots, q_{i,j,k,\dots,m}^{(rn)}\} \quad (72)$$

Процес планирања количина  $PF$ -а одвија се по нивоима оријентисаног графа технолошке структуре  $SP$ , почев од првог ( $N = 1$ ) па закључно са задњим  $k$ -тим нивоом ( $N = k$ ). Општа функционална зависност количина  $PF$ -а од променљивих, за 1. и 2. ниво графа, има облик (73). На идентичан начин формулишу се функционалне зависности за 3., 4. и остале нивое графа ( $N = \overline{3, k}$ ).

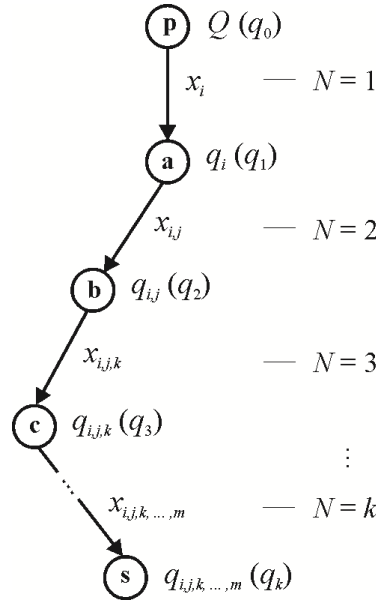
$$N=1 \Rightarrow q_i = f(Q, n_i, \check{s}_i, q_i^{(m)}, q_i^{(rn)}) \wedge N=2 \Rightarrow q_{i,j} = f(q_i, n_{i,j}, \check{s}_{i,j}, q_{i,j}^{(m)}, q_{i,j}^{(rn)}) \quad (73)$$

На слици 28 приказан је подграф, графа технолошке структуре  $SP$ , кога дефинише карактеристични пут  $P_{p,s}$  са највећим растојањем између почетног  $p$  и спољашњег чвора  $s$ . То значи да подграф  $G_1$  садржи све нивое као и базни граф ( $N=k$ ) релација (74). Оријентисаним гранама подграфа  $G_1$ , слика 28, представљене

су производне фазе које чине пут графа  $P_{p,s}$ , док чворови представљају количине производних фаза по нивоима подграфа.

$$P_{p,s} = \max \left\{ d(p,k) \mid k \in V^{(s)} \right\} \wedge i, j, k, \dots, m \in N \wedge \text{card} \{ i, i.j, i.j.k, \dots, i.j.k, \dots, m \} = k$$

$$(Q, q_i, q_{i.j}, q_{i.j.k}, \dots, q_{i.j.k, \dots, m}) \Rightarrow (q_0, q_1, q_2, q_3, \dots, q_k) \quad (74)$$



Слика 28: Подграф  $G_1$  графа технолошке структуре  $SP$  са  $N = k$  нивоа

Моделима за планирање могу се обухватити све или део променљивих приказаних у општој функционалној зависности (73). **Идеалан модел** за планирање обухвата две променљиве  $(Q, n_i)$ , **модел који узима у обзир губитке по основу квалитета** три  $(Q, n_i, \check{s}_i)$ , а **реалан модел** свих пет  $(Q, n_i, \check{s}_i, q_i^{(m)}, q_i^{(r)})$ . Процес планирања увек почиње од првог нивоа, па надаље, респектујући количине са претходног нивоа и друге променљиве релевантне за одабран модел.

$$N = 1 : q_1 = n_1 \cdot Q = n_1 \cdot q_0, \quad Q = q_0 \Rightarrow n_1 = 1$$

$$N = 2 : q_2 = n_2 \cdot q_1 = n_2 \cdot n_1 \cdot Q = n_2 \cdot n_1 \cdot q_0$$

$$N = 3 : q_3 = n_3 \cdot q_2 = n_3 \cdot n_2 \cdot n_1 \cdot Q = n_3 \cdot n_2 \cdot n_1 \cdot q_0$$

$$\quad \quad \quad \vdots \quad \quad \quad \vdots$$

$$N = k : q_k = n_k \cdot q_{k-1} = n_k \cdot n_{k-1} \cdot n_{k-2} \cdot \dots \cdot n_2 \cdot n_1 \cdot Q = n_k \cdot n_{k-1} \cdot n_{k-2} \cdot \dots \cdot n_2 \cdot n_1 \cdot q_0$$

$$m_k = n_1 \cdot n_2 \cdot n_3 \cdot \dots \cdot n_k = \prod_{i=1}^k n_i, \quad i = 1 \Rightarrow n_1 = m_1 = 1 \wedge i = 2 \Rightarrow n_2 = m_2 \quad (75)$$

$$q_i = n_i \cdot q_{i-1} = Q \cdot \prod_{j=1}^i n_j = Q \cdot m_i = q_0 \cdot m_i \quad i = \overline{1, k} \quad (76)$$

**Идеалан модел** за прорачун количина производних фаза  $SP$  дефинисан је релацијом (76), где је:  $i$ - ознака нивоа у графу технолошке структуре;  $q_i$ - количина  $PF$  потребна за реализацију поруџбине  $Q$ ;  $n_i$ - количина  $PF$ -е која се по нормативу (количина за један комад) уграђује у први надређени ( $i-1$ ) ниво;  $m_i$ - количина  $PF$ -е која се по нормативу уграђује у финални производ, релација (75).

**Реалан модел**, поред тржишних и технолошких варијабли, узима у обзир и променљиве помоћу којих се описују стања у производним процесима. Ако је позната количина  $q_0$  коју треба испоручити купцу, поставља се дилема на коју количину  $q_1$  треба отворити радни налог за завршну монтажу  $SP$  имајући у виду реалне губитке по основу квалитета и постојеће залихе, релација (77).

$$n_1 \cdot q_0 = q_1 \cdot (1 - \check{s}_1) + q_1^{(m)} + q_1^{(rn)} \cdot (1 - \check{s}_1) \Rightarrow q_1 = \frac{n_1 \cdot q_0 - q_1^{(m)}}{(1 - \check{s}_1)} - q_1^{(rn)} \quad (77)$$

$$q_2 = \frac{n_2 \cdot q_1 - q_2^{(m)}}{(1 - \check{s}_2)} - q_2^{(rn)}, \quad q_3 = \frac{n_3 \cdot q_2 - q_3^{(m)}}{(1 - \check{s}_3)} - q_3^{(rn)}$$

$$\vdots \quad \quad \quad \vdots$$

$$q_k = \frac{n_k \cdot q_{k-1} - q_k^{(m)}}{(1 - \check{s}_k)} - q_k^{(rn)}, \quad \alpha_k = 1 - \check{s}_k \Rightarrow q_k = \frac{n_k \cdot q_{k-1} - q_k^{(m)}}{\alpha_k} - q_k^{(rn)}$$

$$q_i = \frac{n_i \cdot q_{i-1} - q_i^{(m)}}{\alpha_i} - q_i^{(rn)}, \quad \alpha_i = 1 - \check{s}_i \leq 1 \wedge \check{s}_i \geq 0, \quad \forall i = \overline{1, k} \quad (78)$$

$$q_0 = Q \Rightarrow q_1 = \frac{n_1 \cdot Q - q_1^{(m)}}{\alpha_1} - q_1^{(rn)}$$

$$q_2 = \frac{n_2 \cdot q_1 - q_2^{(m)}}{\alpha_2} - q_2^{(rn)} = \frac{n_2 \cdot \left( \frac{n_1 \cdot Q - q_1^{(m)}}{\alpha_1} - q_1^{(rn)} \right) - q_2^{(m)}}{\alpha_2} - q_2^{(rn)}$$

$$q_2 = \frac{\left( \frac{n_1 \cdot n_2 \cdot Q - n_2 \cdot q_1^{(m)} - \alpha_1 \cdot n_2 \cdot q_1^{(rn)}}{\alpha_1} \right) - q_2^{(m)}}{\alpha_2} - q_2^{(rn)}$$

$$\begin{aligned}
 q_2 &= \frac{n_1 \cdot n_2 \cdot Q - n_2 \cdot q_1^{(m)} - \alpha_1 \cdot n_2 \cdot q_1^{(rn)} - \alpha_1 \cdot q_2^{(m)}}{\alpha_1 \cdot \alpha_2} - q_2^{(rn)} \\
 q_2 &= \frac{n_1 \cdot n_2 \cdot Q}{\alpha_1 \cdot \alpha_2} - \left( \frac{n_2 \cdot q_1^{(m)}}{\alpha_1 \cdot \alpha_2} + \frac{q_2^{(m)}}{\alpha_2} \right) - \left( \frac{n_2 \cdot q_1^{(rn)}}{\alpha_2} + q_2^{(rn)} \right) \\
 q_2 &= \frac{n_1 \cdot n_2 \cdot Q}{\alpha_1 \cdot \alpha_2} - \left[ \left( \frac{n_2 \cdot q_1^{(m)}}{\alpha_1 \cdot \alpha_2} + \frac{n_2 \cdot q_1^{(rn)}}{\alpha_2} \right) + \left( \frac{q_2^{(m)}}{\alpha_2} + q_2^{(rn)} \right) \right] \\
 q_3 &= \frac{n_3 \cdot q_2 - q_3^{(m)}}{\alpha_3} - q_3^{(rn)} \\
 q_3 &= \frac{n_3 \cdot \left[ \frac{n_1 \cdot n_2 \cdot Q}{\alpha_1 \cdot \alpha_2} - \left[ \left( \frac{n_2 \cdot q_1^{(m)}}{\alpha_1 \cdot \alpha_2} + \frac{n_2 \cdot q_1^{(rn)}}{\alpha_2} \right) + \left( \frac{q_2^{(m)}}{\alpha_2} + q_2^{(rn)} \right) \right] \right] - q_3^{(m)}}{\alpha_3} - q_3^{(rn)} \\
 q_3 &= \frac{n_1 \cdot n_2 \cdot n_3 \cdot Q - \left[ \left( \frac{n_2 \cdot n_3 \cdot q_1^{(m)}}{\alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3} + \frac{n_2 \cdot n_3 \cdot q_1^{(rn)}}{\alpha_2 \cdot \alpha_3} \right) + \left( \frac{n_3 \cdot q_2^{(m)}}{\alpha_2 \cdot \alpha_3} + \frac{n_3 \cdot q_2^{(rn)}}{\alpha_3} \right) + \left( \frac{q_3^{(m)}}{\alpha_3} + q_3^{(rn)} \right) \right]}{\alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3} \\
 q_4 &= \frac{n_4 \cdot q_3 - q_4^{(m)}}{\alpha_4} - q_4^{(rn)} \\
 q_4 &= \frac{n_4 \cdot \left[ \frac{n_1 \cdot n_2 \cdot n_3 \cdot Q}{\alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3} - \left[ \left( \frac{n_2 \cdot n_3 \cdot q_1^{(m)}}{\alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3} + \frac{n_2 \cdot n_3 \cdot q_1^{(rn)}}{\alpha_2 \cdot \alpha_3} \right) + \left( \frac{n_3 \cdot q_2^{(m)}}{\alpha_2 \cdot \alpha_3} + \frac{n_3 \cdot q_2^{(rn)}}{\alpha_3} \right) + \left( \frac{q_3^{(m)}}{\alpha_3} + q_3^{(rn)} \right) \right] \right] - q_4^{(m)}}{\alpha_4} - q_4^{(rn)} \\
 q_4 &= \frac{n_1 \cdot n_2 \cdot n_3 \cdot n_4 \cdot Q - \left[ \left( \frac{n_2 \cdot n_3 \cdot n_4 \cdot q_1^{(m)}}{\alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_4} + \frac{n_2 \cdot n_3 \cdot n_4 \cdot q_1^{(rn)}}{\alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_4} \right) + \left( \frac{n_3 \cdot n_4 \cdot q_2^{(m)}}{\alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_4} + \frac{n_3 \cdot n_4 \cdot q_2^{(rn)}}{\alpha_3 \cdot \alpha_4} \right) + \left( \frac{n_4 \cdot q_3^{(m)}}{\alpha_3 \cdot \alpha_4} + \frac{n_4 \cdot q_3^{(rn)}}{\alpha_4} \right) + \left( \frac{q_4^{(m)}}{\alpha_4} + q_4^{(rn)} \right) \right]}{\alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_4} \\
 q_4 &= \frac{n_1 \cdot n_2 \cdot n_3 \cdot n_4 \cdot Q - \left[ \frac{n_2 \cdot n_3 \cdot n_4}{\alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_4} \cdot \left( \frac{q_1^{(m)}}{\alpha_1} + q_1^{(rn)} \right) + \frac{n_3 \cdot n_4}{\alpha_3 \cdot \alpha_4} \cdot \left( \frac{q_2^{(m)}}{\alpha_2} + q_2^{(rn)} \right) + \frac{n_4}{\alpha_4} \cdot \left( \frac{q_3^{(m)}}{\alpha_3} + q_3^{(rn)} \right) + \left( \frac{q_4^{(m)}}{\alpha_4} + q_4^{(rn)} \right) \right]}{\alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_4} \\
 q_5 &= \frac{n_5 \cdot q_4 - q_5^{(m)}}{\alpha_5} - q_5^{(rn)}
 \end{aligned}$$

$$q_5 = \frac{n_1 \cdot n_2 \cdot n_3 \cdot n_4 \cdot n_5}{\alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_4 \cdot \alpha_5} \cdot Q - \left[ \frac{n_2 \cdot n_3 \cdot n_4 \cdot n_5}{\alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_4 \cdot \alpha_5} \cdot \left( \frac{q_1^{(m)}}{\alpha_1} + q_1^{(rn)} \right) + \frac{n_3 \cdot n_4 \cdot n_5}{\alpha_3 \cdot \alpha_4 \cdot \alpha_5} \cdot \left( \frac{q_2^{(m)}}{\alpha_2} + q_2^{(rn)} \right) + \frac{n_4 \cdot n_5}{\alpha_4 \cdot \alpha_5} \cdot \left( \frac{q_3^{(m)}}{\alpha_3} + q_3^{(rn)} \right) + \frac{n_5}{\alpha_5} \cdot \left( \frac{q_4^{(m)}}{\alpha_4} + q_4^{(rn)} \right) + \left( \frac{q_5^{(m)}}{\alpha_5} + q_5^{(rn)} \right) \right]$$

$$q_k = Q \cdot \prod_{i=1}^k \frac{n_i}{\alpha_i} - \sum_{i=1}^k \left[ \left( \frac{q_i^{(m)}}{\alpha_i} + q_i^{(rn)} \right) \cdot \prod_{i=1}^k \frac{n_{i+1}}{\alpha_{i+1}} \right], \quad n_{k+1} \stackrel{def}{=} 1 \wedge \alpha_{k+1} \stackrel{def}{=} 1 \quad (79)$$

$$q_k = Q \cdot \prod_{i=1}^k \frac{n_i}{\alpha_i} - \sum_{i=1}^k \left[ \left( \frac{q_i^{(m)}}{\alpha_i} + \beta_i \cdot q_i^{(rn)} \right) \cdot \prod_{i=1}^k \frac{n_{i+1}}{\alpha_{i+1}} \right], \quad n_{k+1} \stackrel{def}{=} 1 \wedge \alpha_{k+1} \stackrel{def}{=} 1, \quad 0 \leq \beta \leq 1 \quad (80)$$

**Реалан модел** за прорачун количина *PF*-а дефинисан је релацијама (78) и (79). Формула (78) користи се за прорачун количина по етапама, односно по нивоима, почев од 1. па надаље. Формула (79) користи се за директан прорачун без обзира на ком се нивоу *PF*-а налази у оријентисаном графу. Обе релације, (78) и (79), користе се за лансирање производње и израду компонентних планова материјала и делова из кооперације. Формула (80) користи се за прорачун количина *PF*-а у циљу израде компонентних планова алата, производних људских ресурса и машинских капацитета. Преко коефицијента  $\beta$  узима се у прорачун степен реализације радних налога који се налазе у процесу производње. Укупне залихе на нивоу *PF*-а дефинисане су помоћу формуле (81).

$$z_k = \sum_{i=1}^k \left[ \left( \frac{q_i^{(m)}}{\alpha_i} + \beta_i \cdot q_i^{(rn)} \right) \cdot \prod_{i=1}^k \frac{n_{i+1}}{\alpha_{i+1}} \right], \quad n_{k+1} \stackrel{def}{=} 1 \wedge \alpha_{k+1} \stackrel{def}{=} 1, \quad 0 \leq \beta \leq 1 \quad (81)$$

Уколико у процесу производње не постоје залихе, или се производи артикал који до сада није био заступљен у производном програму, тада су актуелни **модел који узимају у обзир губитке по основу квалитета**, релације (82) и (83). Формула (82) користи се за етапни а формула (83) за директан прорачун *PF*-а.

$$(78) \wedge q_i^{(m)} = 0 \wedge q_i^{(rn)} = 0 \Rightarrow q_i = \frac{n_i \cdot q_{i-1}}{\alpha_i}, \quad \alpha_i = 1 - \check{s}_i \leq 1 \wedge \check{s}_i \geq 0, \quad \forall i = \overline{1, k} \quad (82)$$

$$(79) \wedge q_i^{(m)} = 0 \wedge q_i^{(rn)} = 0 \Rightarrow q_k = Q \cdot \prod_{i=1}^k \frac{n_i}{\alpha_i} = \frac{q_0 \cdot m_k}{\prod_{i=1}^k \alpha_i}, \quad \alpha_i = 1 - \check{s}_i \leq 1 \wedge \check{s}_i \geq 0 \quad (83)$$

### 3.4 Модели за оптимизацију производне серије

**Производна серија**, као појам, везује се за лансирану количину истоврсних производа или делова које треба произвести, по радном налогу (*RN*), у циљу задовољења захтева наручиоца (екстерни захтеви) или за потребе уградње у сложеније производне фазе *SP*-а (интерни захтеви *PPS*-а). Са аспекта масовности производње, величина производне серије може се описати помоћу одговарајућих атрибута као: мала, средња и велика. Са становишта динамике производње, по серијама, у индустријској пракси развијенијих земаља заступљени су различити системи који првенствено зависе од функција тражње, техничко - технолошког нивоа *PPS*-а и усвојене производне доктрине. Могуће су следеће варијанте:

- Континуална производња велике количине производа са динамиком отпреме коју диктирају купци (масовна производња, *JPPL*-а),
- Континуална производња велике количине производа у оквиру једне серије са више испорука у лотовима (великосеријска производња, *JPPL*-а и *VPPL*-а),
- Периодично понављајућа континуална производња у правилним временским размацима и истим количинама (средњесеријска производња, *VPPL*-а и *KPL*-а),
- Периодично понављајућа дисконтинуална производња у неправилним временским размацима и различитим количинама (средњесеријска и малосеријска производња, *PPL*-а),
- Континуална или дисконтинуална производња мање количине производа у оквиру једне производне серије (средњесеријска и малосеријска производња; *KPL*-а, *PPL*-а, непроточна производња - *NP*),
- Производња једног или неколико производа (*PPL*-а, *NP*-а).

Треба истаћи да је проблем **оптимизације** уско повезан са коришћењем одговарајућих математичких модела. За оптимизацију разних видова залиха разрађен је велики број модела тако да не постоји јединствена класификација [4]. За груписање математичких модела залиха углавном се користе следећи критеријуми: карактер и начин задовољења тражње (детерминистички, стохастички; обавезујуће, необавезујуће), време испоруке (тренутно, у одређеном временском интервалу), трошкови залиха (начини третмана, степен обухвата), период планирања (фиксан, променљив, бесконачан, са једним или више подпериода), број разноврсних компоненти које чине залихе (једна или више) итд.

### 3.4.1 Приступи и ограничења при моделовању

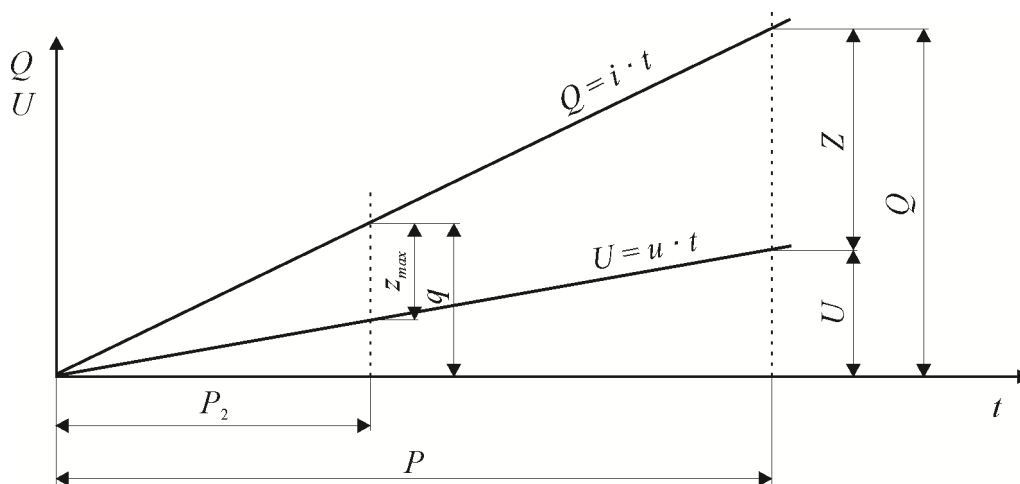
На основу претходних истраживања може се констатовати да број комада у производној серији директно утиче на трајање  $PC$ -а, релације (2), (3), (6) - (12) а самим тим и на висину ангажовања обртних средстава односно, на резултате пословања  $PPS$ -а. Проблематика производне серије третирана је у више радова [4, 6, 14, 15, 18, 19, 33, 62, 74, 77, 110, 139, 164, 217] при чему се оптимизација заснива на моделима за управљање залихама. Услов је да задовољење укупних потреба (екстерних и/или интерних), у одговарајућем периоду, ни у једном тренутку не сме бити угрожено а да при томе укупни трошкови припреме, израде и залиха буду минимални. Трошкови везани за производну серију  $c_u^{(q)}$  садрже сталну (фиксну)  $c_f^{(q)}$  и променљиву (варијабилну)  $c_v^{(q)}$  компоненту.

**Стални трошкови**  $c_f^{(q)}$  се односе на припремно – завршне радове и њихов износ  $c_p^{(q)}$  не зависи од величине серије  $q$ . То значи да са повећањем серије трошкови припреме опадају по јединици производа. **Променљиви трошкови**  $c_v^{(q)}$  обухватају трошкове замрзнутог капитала у материјалу, зарадама, складиштењу и чувању производа. Уколико се производња кредитира са обртним средствима позајмљеним од стране банака, онда трошкови обухватају и камату. Променљиви трошкови се третирају као изгубљена добит због ангажовања финансијских средстава у недовршеној производњи или у залихама готове робе. Ови трошкови расту пропорционално са повећањем серије, док су по јединици производа приближно константни. Супротно оријентисан карактер трошкова намеће економски критеријум за утврђивање производне серије за коју би ова супротност била оптимално усклађена.

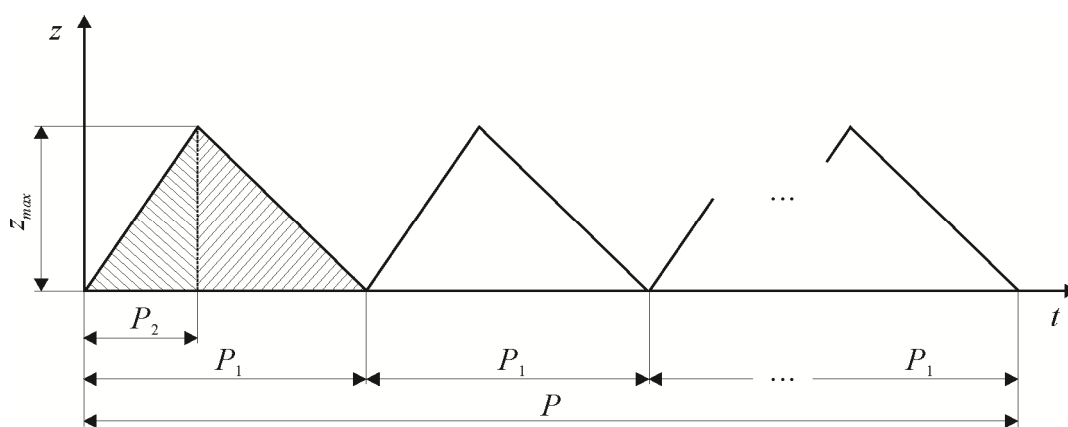
У радовима који истражују величину производне серије користе се углавном два теоријска модела који респектују усвојену стратегију за управљање залихама и примењују се на елементарним  $PF$ -а или једноделним производима.

**Први модел** полази од претпоставке да је потражња  $u$  за одређеним елементом константна и позната као и производња  $i$  која је лимитирана максималним дневним капацитетом. Процеси израде и уградње елемента у вишу производну фазу се одвијају истовремено, при чему се сваког дана складишти вишак

произведене количине ( $i \cdot u$ ) обзиром да је дневна производња већа од дневних потреба (слика 29). Елементи почињу да улазе на складиште тек када је стање на залихама нула. Залихе достижу максимум ( $z_{max}$ ) на крају периода израде  $P_2$  а минимум (0) на почетку и крају периода  $P_1$  (израде и монтаже), слика 30.



Слика 29: Функције производње  $Q$ , тражње  $U$  и укупних залиха  $Z$



Слика 30: Периодично кретање залиха  $z$  између екстремних вредности  $(0, z_{max})$

$$t = P \wedge i > u \Rightarrow Q = i \cdot P \wedge U = u \cdot P \Rightarrow P = \frac{Q}{i} = \frac{U}{u} \quad (84)$$

$$Z = Q - U = (i - u) \cdot P \wedge P = \frac{Q}{i} \Rightarrow Z = \left(1 - \frac{u}{i}\right) \cdot Q \quad (85)$$

$$P_1 = \frac{P}{N} \wedge N = \frac{Q}{q} \Rightarrow P_1 = \frac{P}{Q} \cdot q \quad (86)$$

$$(85) \Rightarrow z_{max} = \left(1 - \frac{u}{i}\right) \cdot q \Rightarrow \bar{z} = \frac{0 + z_{max}}{2} = \left(1 - \frac{u}{i}\right) \cdot \frac{q}{2} \quad (87)$$



Просечне залихе  $\bar{z}$  у периоду  $P_1$  дефинисане су помоћу формуле (87), а зависност трошкова  $c_u^{(q)}$  од величине производне серије  $q$  приказана је помоћу релације (88). Варијабилни део трошкова  $c_v^{(q)}$  чини збир трошкова израде  $c_i^{(q)}$  и трошкова складиштења  $c_s^{(q)}$ , док фиксну компоненту  $c_f^{(q)}$  чине трошкови припреме  $c_p^{(q)}$ .

$$c_u^{(q)} = c_v^{(q)} + c_f^{(q)} = c_s^{(q)} + c_i^{(q)} + c_p^{(q)}, \quad c_s^{(q)} = \bar{z} \cdot t_1 \cdot p \cdot P_1 \wedge c_i^{(q)} = t_1 \cdot q, \quad t_1 = t_m + t_r \Rightarrow$$

$$(86) \wedge (87) \Rightarrow c_u^{(q)} = q \cdot \left(1 - \frac{u}{i}\right) \cdot \frac{t_1 \cdot p}{2} \cdot \frac{P \cdot q}{Q} + t_1 \cdot q + c_p^{(q)} \quad (88)$$

$$C_u^{(Q)} = c_u^{(q)} \cdot N = c_u^{(q)} \cdot \frac{Q}{q} = \left(1 - \frac{u}{i}\right) \cdot \frac{t_1 \cdot p \cdot P}{2} \cdot q + \frac{c_p^{(q)} \cdot Q}{q} + t_1 \cdot Q \quad (89)$$

$$\frac{dC_u^{(Q)}}{dq} = 0 \Rightarrow q = \sqrt{\frac{2 \cdot c_p^{(q)} \cdot Q}{p \cdot t_1 \cdot P \cdot \left(1 - \frac{u}{i}\right)}} = \sqrt{\frac{2 \cdot c_p^{(q)} \cdot Q}{p \cdot t_1 \cdot P} \cdot \frac{i}{i - u}} \quad (90)$$

**Оптимальна величина производне серије  $q$**  израчунаће се помоћу формуле (90) која се добија тако што се први извод функције укупних трошкова  $C_u^{(Q)}$  (89) изједначи са нулом и реши по  $q$ . Први модел углавном решава проблематику *производних залиха*. То значи да се помоћу њега може израчунати оптималан обим  $q$  и време производње  $P_2$  елемента који ће задовољити потребе везане за његову даљу уградњу у сложенију *PF*-у, у периоду монтаже  $P_1$ . Модел се може користити и за оптимизацију залиха недовршене производње уколико се примењује на нивоу технолошких операција. Решавање проблематике *тржишних залиха* могуће је ако се ради о једноделном производу. У том случају оптимална производна серија треба да задовољи познату и константну тражњу купаца при чему се залихе у складишту готове робе крећу у границама од  $[0, z_{max}]$ .

**Други модел** полази од претпоставке да је потреба за одређеним елементом или једноделним производом позната. Да би се задовољила укупна тражња  $U$  елемент се требује, из складишта делова, односно производ отпрема, из складишта готове робе, периодично у идентичним временским размацима  $P_2$  и у истим количинама  $q$  (слика 29). Процеси производње и складиштења се одвијају у континуитету у количинама које су лимитиране дневним капацитетом ( $i$ ) док потреба, на дневном нивоу ( $u$ ), не постоји у периоду производње  $P_2$ . Монтажа и отпрема су фазно померени у односу на процес производње, тако да се периоди  $P_1$  и  $P_2$  не

преклапају, као код првог модела (слика 30), већ се надовезују. Оптимална производна серија  $q$ , релација (91), идентична је са количином која се требају односно отпрема, при чему се залихе  $z$  крећу у границама од  $[0, q]$ .

$$(90) \wedge u = 0 \Rightarrow q = \sqrt{\frac{2 \cdot c_p^{(q)} \cdot Q}{p \cdot t_1 \cdot P}}, \quad z \in [0, q] \quad (91)$$

**Ознаке** у моделима:  $C_u^{(Q)}$  - укупни трошкови за обим производње  $Q$ ,  $c_u^{(q)}$  - укупни трошкови по производној серији  $q$ ,  $Q$  - укупан обим производње,  $U$  - укупан обим тражње,  $q$  - величина производне серије,  $N$  - укупан број производних серија,  $P$  - период у коме се реализује производња  $Q$  на основу укупне тражње  $U$ ,  $P_2$  - период у коме се реализује процес производње у обиму  $q$  (трајање производног циклуса),  $P_1$  - период цикличног складиштења омеђен стањима залиха  $z = 0$ ,  $i$  - динамика дневне производње,  $u$  - динамика дневне потрошње,  $c_v^{(q)}$  - варијабилни део укупних трошкова  $c_u^{(q)}$  по серији  $q$ ,  $c_f^{(q)}$  - фиксни део укупних трошкова  $c_u^{(q)}$  или укупни трошкови припреме  $c_p^{(q)}$  по серији  $q$ ,  $c_i^{(q)}$  - трошкови израде по серији  $q$ ,  $t_1$  - укупни трошкови материјала и рада по јединици производа,  $t_r$  - јединични трошкови рада,  $t_m$  - трошкови материјала по јединици производа,  $z$  - залихе на складишту које се крећу у распону од  $[0, z_{max}]$  односно  $[0, q]$ ,  $\bar{z}$  - просечне залихе у периоду складиштења  $P_1$ ,  $p$  - укупна годишња стопа која обухвата трошкове камата  $p_1$  на залеђена обртна средства ангажована у процесу производње и трошкове складиштења, чувања и осигурања залиха  $p_2$ .

За израчунавање оптималне производне серије ( $OPS$ ) сличне формуле користе и други аутори. Формула (90) слична је са формулама (92) ( $X_{opt} \rightarrow [14, 15, 18, 77, 110]$ ), (93) ( $ELS \rightarrow [33]$ ) и (94) ( $q_{opt} \rightarrow [217]$ ), док је (91) слична са формулама (95) ( $x \rightarrow [4, 164]$ ,  $q^* \rightarrow [139]$ ,  $G_{opt} \rightarrow [19]$ ,  $x_{opt} \rightarrow [6]$ ) и (96) ( $x_{opt}^* \rightarrow [6]$ ,  $Q^* \rightarrow [62]$ ). За прорачун  $OPS$  могу се користити и формуле по Лексију и Тафту [110]. Уколико се трошкови складиштења процењују на основу површине (запремине) амбалаже

и складишног простора може се применити Томпсонова формула [110]. За оптимизацију недовршене производње, између технолошких операција, користи се и формула Шлајмахера [110].

$$X_{opt} = \sqrt{\frac{2 \cdot P \cdot C_p \cdot p}{C_s \cdot (p - q)}}, \quad C_s = p \cdot t_1 \cdot P \quad (92)$$

$$ELS = \sqrt{\frac{2 \cdot D \cdot S}{K \cdot C} \cdot \frac{P_k}{P_k - D}} = \sqrt{\frac{2 \cdot D \cdot S}{K \cdot C} \cdot \frac{p}{p - q}}, \quad P_k = p \cdot D_r, \quad D = q \cdot D_r \quad (93)$$

$$q_{opt} = \sqrt{\frac{2 \cdot T_p \cdot Q}{P \cdot t_1 \cdot p \cdot \left(1 - \frac{u}{i}\right)}} = \sqrt{\frac{2 \cdot T_p \cdot Q}{P \cdot t_1 \cdot p} \cdot \frac{i}{i - u}} \quad (94)$$

$$x = \sqrt{\frac{2 \cdot C_0 \cdot X}{C_1 \cdot T}}, \quad q^* = \sqrt{\frac{2 \cdot k_0 \cdot Q}{k_1 \cdot \tau}}, \quad G_{opt} = \sqrt{\frac{2 \cdot C_s \cdot R}{C_1 \cdot T}}, \quad x_{opt} = \sqrt{\frac{2 \cdot L \cdot s_{Men}}{s_{Obd} \cdot p}} \quad (95)$$

$$x_{opt}^* = \sqrt{\frac{2 \cdot L \cdot s_{Men}}{s_{Obd} \cdot p + \frac{(s_{Mat} + s_{obd}) \cdot L \cdot p}{60 \cdot RC} \cdot ST \cdot \sum \frac{t_{el}}{KAP}}}, \quad Q^* = \sqrt{\frac{2 \cdot m \cdot (c_s + m \cdot c_T)}{\left(\frac{m}{d} + \frac{2 - m}{p}\right) \cdot h}} \quad (96)$$

**Упоредни приказ и значење** ознака које су коришћене у формулама (92) - (96) са ознакама које имају слично или идентично значење у формулама (90) и (91):  $X_{opt}, ELS, q_{opt}, x, q^*, G_{opt}, x_{opt}, x_{opt}^*, Q^* \equiv q$  - оптимална производна серија,  $C_s$  - трошкови складиштења по јединици производа у периоду ( $P$ ) у коме се реализује укупан обим производње и тражње,  $p \equiv i$  - динамика дневне производње,  $q \equiv u$  - динамика дневне потрошње,  $P_k$  - максимални годишњи капацитет производње,  $D_r$  - укупан број радних дана у години,  $P, D, X, R, L \equiv Q$  - уговорена или процењена годишња производња или тражња,  $C_p, S, T_p, C_0, k_0, C_s, s_{Men} \equiv c_p^{(q)}$  - трошкови припреме производње по једној производној серији,  $C \equiv t_1$  - цена коштања производа,  $K$  - процентуални износ трошкова складиштења и држања залиха у односу на цену коштања,  $C_1, k_1 \equiv p \cdot t_1$  - трошкови складиштења по комаду и дану,  $T, \tau \equiv P$  - плански хоризонт укупног обима производње односно тражње,  $s_{Obd} \equiv t_r$  - трошкови рада по комаду,  $p \equiv p_1$  - каматна стопа,  $s_{Mat} \equiv t_m$  - трошкови материјала по комаду,  $t_{el}$  - време по комаду у минутима,  $KAP$  - број часова рада у дану,  $RC \equiv D_r$  - број дана у години,  $ST$  - коефицијент протока

материјала,  $m \equiv N$  - број производних серија,  $c_S + m \cdot c_T \equiv c_p^{(q)}$  - трошкови припреме по серији,  $c_T$  - трошкови транспорта по серији,  $p \equiv i$  - количина производа која се произведе у јединици времена,  $d \equiv u$  - тражња у јединици времена,  $h$  - трошкови складиштења по комаду у јединици времена.

За разлику од класичних модела, код којих постоји обавеза у погледу задовољења тражње ( $Q > U$ ), у пракси се често сусрећу ситуације када тражња не може или не мора да буде задовољена. Ако су производне могућности мање од потреба тада тражња не може бити задовољена. Уколико је "дозвољено" кашњење приликом испорука тада тражња "не мора" да буде задовољена. Проблем оптималне производне серије у оваквим ситуацијама решава се помоћу модела залиха са дозвољеним кашњењем, односно, модела залиха са "пеналима" [4], обзиром да се кашњења при испорукама санкционишу "пеналима", чиме се увећавају укупни трошкови по серији. Модели са кашњењем могу се сматрати општијим у односу на описане (класичне) моделе, који у ствари представљају њихов специфичан случај.

Без обзира да ли је кашњење при испорукама дозвољено или не, сви до сада наведени модели залиха обликовани су, у математичком смислу, као статичко - детерминистички. Статички приступ моделовању омогућавају фиксне цене инпута, који се користе у процесу производње, чиме се гарантује константна цена коштања производа током укупног периода задовољења тражње. Детерминистички приступ моделовању омогућен је претпоставком да је тражња у одређеном периоду константна и унапред позната.

Увођењем претпоставке о стохастичкој тражњи и променљивим ценама у периоду задовољења укупних потреба отклањају се најважнији недостаци свих до сада разматраних модела. То значи, да се реалне ситуације најчешће описују и обликују помоћу модела који су засновани на динамичко - стохастичком приступу. Однос између производних могућности, залиха у радним налозима и у складишту, са једне стране, и стохастичке тражње, са друге стране, има променљив карактер у функцији од времена. Променљив карактер односа између понуде и тражње захтева промену критеријума за изналагање оптималних

решења. Структура стохастичких модела знатно се разликује од структуре детерминистичких, што значи да се и поступци за њихово решавање разликују.

Са аспекта актуелности централно место заузимају модели за прихватање поруџбина и планирање производње са флексибилним роковима испоруке. Модели омогућавају оптимизацију производне серије са аспекта максимизације профита уважавајући реалне производне могућности и прихватање већег броја поруџбина које се могу реализовати у флексибилним роковима. То значи да се купцима предлажу термини испоруке које производни систем може да испоштује. У зависности од претпоставки на којима се заснивају модели за оптимизацију производне серије (партије) у литератури [74, 161] постоје различите хеуристике и апликативни софтверски алати (*Xpress - IVE*) за решавање модела.

#### **3.4.2 Оптимизација производне серије сложеног производа**

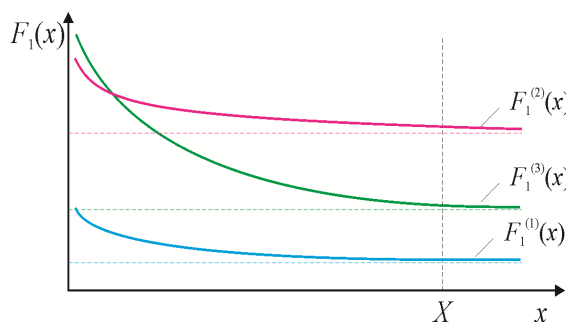
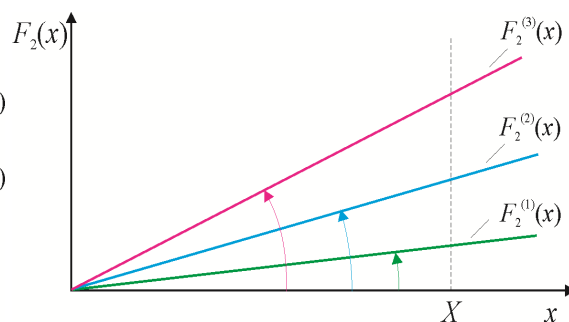
Када је у производном програму фабрике заступљен велики број производа, а тражња је стохастичка, уобичајено је да се лансира производња у серијама, при чему се води рачуна да серија буде довољно велика, да "покрије" тражњу за производом у одговарајућем планском периоду, све док се поново не лансира. Потребно је тако планирати и нивелисати производњу различитих производа да у сваком тренутку на залихама постоји минимални број готових производа чиме би се избегла могућност неиспуњења захтева за неким од њих. Уједно ово значи и способност организације да у најкраћем времену изради додатну количину производа и на тај начин задовољи тражњу, уколико она превазилази ниво сигурносних залиха. Ако постоји тачно одређена обавеза, утврђена уговором, или на неки други начин, између купца и испоручиоца, о производњи и испоруци одређене количине робе, у задатом року, онда је тражња детерминистичка и позната. У циљу задовољења познате тражње често се производња реализује у великим серијама, што оптерећује финансије и пословање *PPS*-а. Економски је исплативије да се производња реализује у више мањих серија а отпрема у лотовима, чиме се смањују укупни трошкови и повећава обрт капитала.

Са аспекта оптимизације производне серије поставља се дилема на ком нивоу треба дефинисати моделе: појединачно на нивоу сваке производне фазе која улази

у састав  $SP$ -а, или на нивоу  $SP$ -а као целине. Ако се процес оптимизације реализује на нивоу  $PF$ -а тада се оптималне серије делова међусобом разликују при чему је величина серије  $SP$ -а лимитирана минималном количином неке  $PF$ -е. Производња се у том случају реализује по систему "*push* - гурања" са великом недовршеном производњом и непотребним трошковима. На основу резултата датим у [34] обим недовршене производње на нивоу  $SP$ -а, који се састоји од 18  $PF$ -а, у овом случају износи и до 30%. Уколико се модел оптимизације дефинише на нивоу  $SP$ -а, као целине, тада се оптималне количине  $PF$ -а дефинишу помоћу формуле (79). Величине серија су међусобом усклађене и зависе од захтева купаца. Концепт производње заснован је на феномену "*pull* - усисавања" са циљем смањења залиха у процесу производње и елиминисања непотребних трошкова одржавања истих.

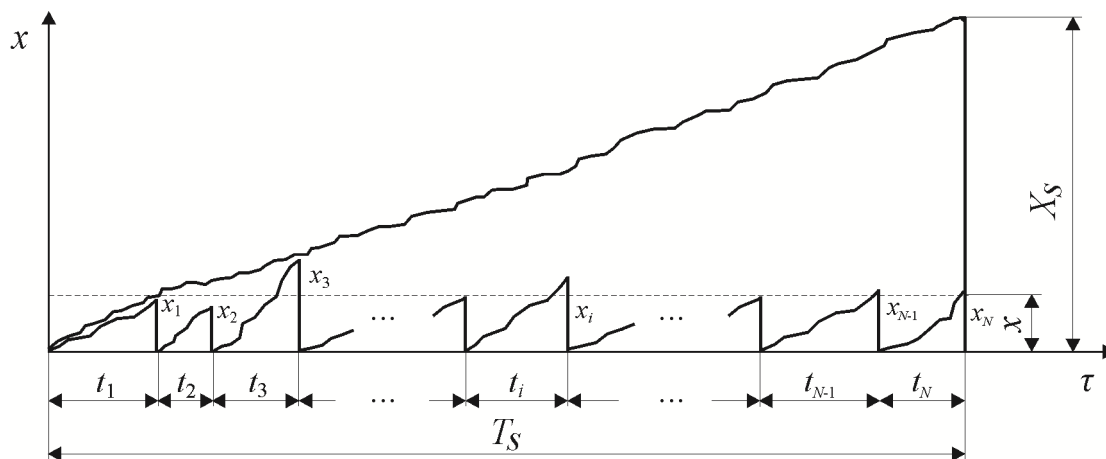
На основу претходних истраживања може се констатовати да је проблематика оптимизације производне серије  $SP$ -а у литератури мало третирана. Не постоје јасне процедуре и формуле које, поред уговореног рока испоруке, на одговарајући начин респектују укупне фиксне и варијабилне трошкове  $PPS$ -а. Формуле (90) - (96) примењују се углавном на једноделним производима или елементарним производним фазама, где је обухваћен само мањи део трошкова. Фиксни износ трошкова везује се за трошкове припреме, док трошкови складиштења и камата, по основу замрзавања обртних средстава ангажованих у процесу производње, представљају варијабилну компоненту. Цена коштања производа обухвата само трошкове директног рада и материјала. То значи да нису обухваћени трошкови рада који се односе на помоћне послове у производњи (оперативна припрема, транспорт, контрола, производни менаџмент) и режијске послове, где је, сагласно принципима поделе и специјализације рада, по правилу ангажована високо квалификована радна снага. Са аспекта материјалне компоненте нису обухваћени режијски материјали, помоћни материјали и енергија, као и трошкови средстава за рад (грађевински објекти, путна инфраструктура, постројења, машине, уређаји, инсталације, алати, инвентар, транспортна средства). Обзиром да се ради о једноделном производу или елементу "заборављени" трошкови не утичу битно на оптимална решења, јер се најчешће ради о једном материјалу и једном технолошком поступку који дефинише обим ангажовања производних радника.

У односу на елементарне процесе, производња  $SP$ -а се састоји од неколико десетина па и стотина производних фаза где је ангажовано најмање исто толико разноврсних материјала, машина и уређаја, алата и контролника, амбалаже и средстава за транспорт. Често се дешава да неколико  $SP$ -а, из производног програма  $PPS$ -а, директно обликује структуру трошкова и резултате пословања. Због тога модели за оптимизацију величине производне серије  $SP$ -а треба да обухвате све трошкове  $PPS$ -а који су, на одговарајући начин, разврстани у фиксну (слика 31) и варијабилну (слика 32) компоненту.

Слика 31: Фиксни трошкови  $SP$ -аСлика 32: Променљиви трошкови  $SP$ -а

На слици 31 приказане су могуће зависности укупних фиксних трошкова  $F_1(x)$  од величине производне серије  $SP$ -а. Функцијама  $F_1^{(2)}(x)$  и  $F_1^{(3)}(x)$  приказани су фиксни трошкови чије је учешће у укупним трошковима  $SP$ -а значајно, при чему је прва функција инертна а друга осетљива на промену величине серије ( $x$ ). Функција  $F_1^{(1)}(x)$  приказује мало учешће фиксних у укупним трошковима  $SP$ -а. Са порастом трошкова припреме производње расту и укупни фиксни трошкови. Међутим, на њихов износ утичу и други фиксни трошкови  $PPS$ -а, који се помоћу усвојених критеријума деле на  $SP$ -е. На слици 32 приказане су могуће зависности укупних варијабилних трошкова  $F_2(x)$  од величине серије  $SP$ -а ( $x$ ). На коефицијенте правца функција  $F_2^{(i)}(x), i = \overline{1,3}$  утичу трошкови директног рада и материјала. Са порастом ових трошкова повећава се и угао који функције заклапају са апсцисом.

Када је у питању серијска производња  $SP$ -а позната тражња  $X$ , у периоду  $T$ , може се реализовати у једној већој производној серији  $X_S$ , или у више ( $N > 1$ ) мањих серија  $x_i$ , које се у одговарајућим временским интервалима  $t_i$  понављају у зависности од тражње, слика 33.

Слика 33: Производне функције *SP*-а у зависности од величине серије

Укупна количина производа ( $X_S$ ), која се лансира у производњу, увек је већа од поручене количине ( $X$ ), док трајање производње ( $T_S$ ) у односу на уговорен рок ( $T$ ) може да буде краће, али и дуже, уколико се у процесу производње појаве непланирани губици, релација (97). Под претпоставком да су лансиране количине ( $x$ ) производа исте, због стохастичког деловања мноштва утицајних фактора, произведене количине по радним налозима  $x_i$ , разликоваће се као и временски интервали  $t_i$  у оквиру којих се реализују серије, слика 33, релација (98).

$$T_S = T \pm \Delta T \quad \wedge \quad X_S = X + \Delta X \quad (97)$$

$$t_{\min} \leq t_i \leq t_{\max} \quad \wedge \quad x_{\min} \leq x_i \leq x_{\max} \quad (98)$$

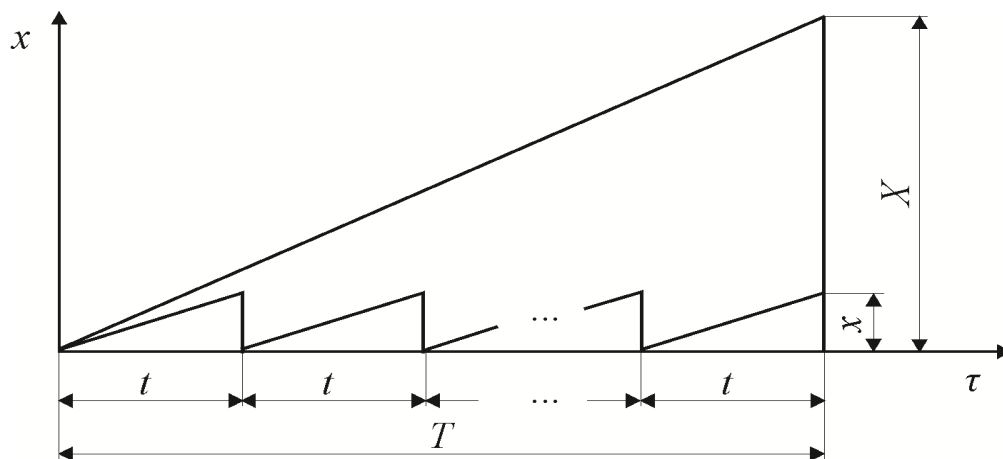
Наведену тврдњу најбоље илуструје истраживање [34] серијске производње противавионског метка 30 mm са тренутно обележавајућом гранатом ( $T_6$ ). У периоду од 18 година укупно је произведено 2.106.028 комада *SP*-а у 216 серија. Резултати граничних вредности трајања циклуса  $T_{CS}$ , величина серија  $x_i$ , временских интервала  $t_i$  и одговарајућих математичких очекивања дати су у (99).

$$T = 18 \text{ god} \quad \wedge \quad X = 2\,106\,028 \text{ kom} \quad \wedge \quad N = 216 \text{ ser} \Rightarrow 91 \leq T_{CS} \leq 124 \text{ rd} \Rightarrow \\ 10 \leq t_i \leq 30 \Rightarrow M(t_i) = 17,5 \text{ rd} \quad \wedge \quad 8732 \leq x_i \leq 10814 \Rightarrow M(x_i) = 9750 \text{ kom} \quad (99)$$

Ако се величине производних серија  $x_i$  и периоди  $t_i$ , слика 33, на одговарајући начин упросече, релација (100), тј. пође се од става да је укупну тражњу  $X$  у периоду  $T$  могуће задовољити у  $N$  оптималних производних серија, величине  $x$  у идентичним временским интервалима  $t$ , добиће се модел производње на слици 34.



$$t = \frac{\sum_{i=1}^N t_i}{N} (= M(t_i)) \quad \wedge \quad x = \frac{\sum_{i=1}^N x_i}{N} (= M(x_i)) \quad (100)$$



Слика 34: Модел серијске производње *SP*-а у истим количинама и периодима

Теоријски модел за оптимизацију производне серије  $x_0$  *SP*-а засниваће се на следећим претпоставкама:

- минимизација укупних трошкова производње поруцбине  $X$ , у задатом периоду  $T$ , представља основни критеријум оптимизације,
- тражња  $X$  за *SP*-ом је позната и фиксна у временском периоду  $T$ ,
- тражњу  $X$  је могуће реализовати у периоду  $T$  са аспекта расположивих капацитета (статичка анализа) и трајања циклуса производње прве и осталих серија (динамичка анализа), након успостављања континуалног режима производње,
- током периода  $T$  дозвољена је циклична испорука производа у подпериодима  $t$  и у оптималним количинама  $x_0$  које су економски исплативе за *PPS* (слика 34),
- постоји технолошка и производно-планска документација на основу које је могуће дефинисати норматив директног рада, (табела 6, релација 117) и норматив директног материјала (табела 7, релација 118),
- постоји књиговодствено-финансијска документација (завршни рачуни) на основу које је могуће применити једну од метода за раздвајање укупних трошкова на фиксну и варијабилну компоненту у зависности од степена коришћења капацитета односно, зоне запослености (књиговодствена метода,

метода интерполације, Шмаленбах-ова метода, метода коефицијента реакбилности, метода регресије и екстраполације тренда),

- удео фиксних и варијабилних трошкова на нивоу *SP*-а, у односу на промену обима производње, могуће је сагледати преко вредности норма часа (*VNČ*).

Имајући у виду модел серијске производње *SP*-а (слика 34) и усвојене претпоставке, релације (101) - (115), добијена је формула (116) за оптимизацију величине производне серије  $x_o$  *SP*-а.

$$T = N \cdot t \Rightarrow N = \frac{T}{t} \quad (101)$$

$$X = N \cdot x \Rightarrow N = \frac{X}{x} \quad (102)$$

$$(101) \wedge (102) \Rightarrow \frac{T}{t} = \frac{X}{x} \Rightarrow t = \frac{T}{X} \cdot x \quad (103)$$

$$f_1(x) = C_o \wedge F_1(x) = f_1(x) \cdot N = C_o \cdot \frac{X}{x} \quad (104)$$

$$f_2(x) = \frac{c_1 \cdot t}{2} \cdot x \wedge t = \frac{T}{X} \cdot x \Rightarrow f_2(x) = \frac{c_1 \cdot T}{2 \cdot X} \cdot x^2 \quad (105)$$

$$F_2(x) = f_2(x) \cdot N = \frac{c_1 \cdot T}{2} \cdot x \quad (106)$$

$$F(x) = F_1(x) + F_2(x) = \frac{C_o \cdot X}{x} + \frac{c_1 \cdot T}{2} \cdot x \quad (107)$$

$$C = T_m + T_r + T_o = T_m + T_r + T_{ov} + T_{oc} \quad (108)$$

$$VNČ = \frac{C - T_m}{\sum NC} = \frac{T_r + T_{ov} + T_{oc}}{\sum NC} = V_r + V_{ov} + V_{oc} \quad (109)$$

$$t_n = t_k + \frac{T_{pz}}{x} \quad (110)$$

$$C_o = t_n \cdot x \cdot V_{oc} = T_{pz} \cdot V_{oc} + t_k \cdot V_{oc} \cdot x \quad (111)$$

$$c_1 = \frac{W_m + W_r + W_{ov}}{T_G} \quad (112)$$

$$W_m = \sum_{j=1}^k S_{i,j} \cdot C_{m_j}, \quad W_r = \left( t_k + \frac{T_{pz}}{x} \right) \cdot V_r, \quad W_{ov} = \left( t_k + \frac{T_{pz}}{x} \right) \cdot V_{ov} \quad (113)$$

$$c_1 = \frac{1}{T_G} \left( W_m + t_k \cdot (V_r + V_{ov}) + \frac{T_{pz} \cdot (V_r + V_{ov})}{x} \right) \quad (114)$$

$$(107) \wedge (111) \wedge (114) \Rightarrow$$

$$F(x) = \frac{X}{x} \cdot (T_{pz} \cdot V_{oc} + t_k \cdot V_{oc} \cdot x) + \frac{T}{2 \cdot T_G} \left( W_m + t_k \cdot (V_r + V_{ov}) + \frac{T_{pz} \cdot (V_r + V_{ov})}{x} \right) \cdot x \Rightarrow$$

$$F(x) = t_k \cdot V_{oc} \cdot X + \frac{T_{pz} \cdot V_{oc} \cdot X}{x} + \frac{T \cdot T_{pz}}{2 \cdot T_G} \cdot (V_r + V_{ov}) + \frac{T \cdot (W_m + t_k \cdot (V_r + V_{ov}))}{2 \cdot T_G} \cdot x \Rightarrow$$

$$F(x) = t_k \cdot V_{oc} \cdot X + \frac{T \cdot T_{pz}}{2 \cdot T_G} \cdot (V_r + V_{ov}) + \frac{T \cdot (W_m + t_k \cdot (V_r + V_{ov}))}{2 \cdot T_G} \cdot x + \frac{T_{pz} \cdot V_{oc} \cdot X}{x} \quad (115)$$

$$\frac{dF(x)}{dx} = 0 \Rightarrow \frac{T \cdot (W_m + t_k \cdot (V_r + V_{ov}))}{2 \cdot T_G} - \frac{T_{pz} \cdot V_{oc} \cdot X}{x^2} = 0 \Rightarrow x_o$$

$$x_o = \sqrt{\frac{2 \cdot T_{pz} \cdot V_{oc} \cdot X}{(W_m + t_k \cdot (V_r + V_{ov})) \cdot \frac{T}{T_G}}} \quad (116)$$

Табела 6: Нормативи времена на нивоу  $SP$ -а  $X_i$ ,  $PF$ -а и производних целина  $O_j$

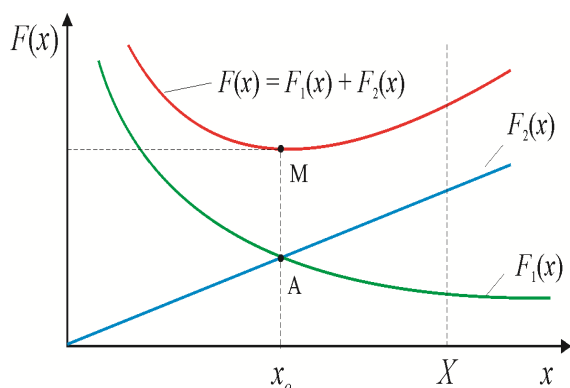
$PF$ -e	Параметри $i = \overline{1, s}$			Организационе целине $O_j, j = \overline{1, k}$							Нормативи $PF$ -а		
	$x_{i,j,k,\dots,m}$	$X_i$	$n_i$	$m_i$	$O_1$	$O_2$	$O_3$	...	$O_j$	...	$O_k$	по комаду	прип-завр
$I$	$2$	$3$	$4$	$5$	$6$	$7$	-	-	-	-	$4+k$	$5+k$	$6+k$
$x_i$	$x_1$	$n_1$	$m_1$	$t_{1,1}$	$t_{1,2}$	$t_{1,3}$	...	$t_{1,j}$	...	$t_{1,k}$	$t_1$	$T_1^{(pz)}$	
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$		$\vdots$		$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	
$x_{i,j}$	$x_p$	$n_p$	$m_p$	$t_{p,1}$	$t_{p,2}$	$t_{p,3}$		$t_{p,j}$		$t_{p,k}$	$t_p$	$T_p^{(pz)}$	
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	...	$\vdots$	...	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	
$x_{i,j,k}$	$x_r$	$n_r$	$m_r$	$t_{r,1}$	$t_{r,2}$	$t_{r,3}$		$t_{r,j}$		$t_{r,k}$	$t_r$	$T_r^{(pz)}$	
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$		$\vdots$		$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	
$x_{i,j,k,\dots,m}$	$x_s$	$n_s$	$m_s$	$t_{s,1}$	$t_{s,2}$	$t_{s,3}$	...	$t_{s,j}$	...	$t_{s,k}$	$t_s$	$T_s^{(pz)}$	
Нормативи на нивоу $SP$ -а				$t_{i,1}$	$t_{i,2}$	$t_{i,3}$	...	$t_{i,j}$	...	$t_{i,k}$	$t_k$	$T_{pz}$	

$$t_{i,j} = \sum_{e=1}^s t_{e,j} \cdot m_e, t_r = \sum_{j=1}^k t_{r,j}, t_k = \sum_{i=1}^s t_i \cdot m_i, T_{pz} = \sum_{i=1}^s T_i^{(pz)}, t_n = t_k + \frac{T_{pz}}{x} \quad (117)$$

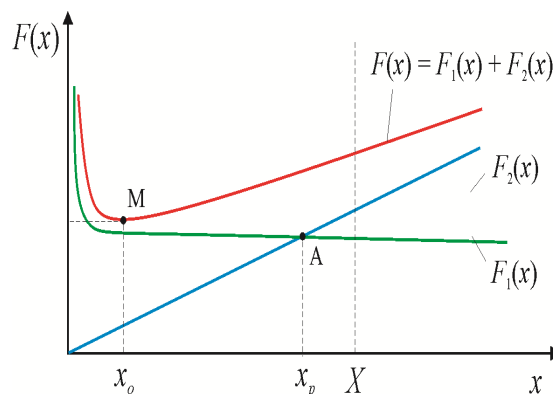
Табела 7: Нормативи материјала и делова из кооперације на нивоу  $SP$ -а  $X_i$  и  $PF$ -а

$PF$ -e	Параметри $i = \overline{1, s}$			Материјали и делови из кооперације $S_j, j = \overline{1, k}$							
	$x_{i,j,k,\dots,m}$	$X_i$	$n_i$	$m_i$	$S_1$	$S_2$	$S_3$	...	$S_j$	...	$S_k$
$I$	$2$	$3$	$4$	$5$	$6$	$7$	-	-	-	-	$4+k$
$x_i$	$x_1$	$n_1$	$m_1$	$s_{1,1}$	$s_{1,2}$	$s_{1,3}$	...	$s_{1,j}$	...	$s_{1,k}$	
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$		$\vdots$		$\vdots$	
$x_{i,j}$	$x_p$	$n_p$	$m_p$	$s_{p,1}$	$s_{p,2}$	$s_{p,3}$		$s_{p,j}$		$s_{p,k}$	
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	...	$\vdots$	...	$\vdots$	
$x_{i,j,k}$	$x_r$	$n_r$	$m_r$	$s_{r,1}$	$s_{r,2}$	$s_{r,3}$		$s_{r,j}$		$s_{r,k}$	
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$		$\vdots$		$\vdots$	
$x_{i,j,k,\dots,m}$	$x_s$	$n_s$	$m_s$	$s_{s,1}$	$s_{s,2}$	$s_{s,3}$	...	$s_{s,j}$	...	$s_{s,k}$	
Нормативи на нивоу $SP$ -а				$s_{i,1}$	$s_{i,2}$	$s_{i,3}$	...	$s_{i,j}$	...	$s_{i,k}$	
Цене коштања материјала				$C_{m1}$	$C_{m2}$	$C_{m3}$	...	$C_{mj}$	...	$C_{mk}$	

$$S_{i,j} = \sum_{r=1}^s s_{r,j} \cdot m_r = s_{1,j} \cdot m_1 + s_{2,j} \cdot m_2 + s_{3,j} \cdot m_3 + \dots + s_{s,j} \cdot m_s \quad (118)$$



Слика 35: Приказ укупних трошкова



Слика 36: Оптимална производна серија

**Ознаке** у моделу:  $X$  - укупна тражња (поруџбина) за  $SP$ -ом (слике 34, 35, 36),  $T$  - период тражње (рок испоруке поруџбине  $X$ ),  $N$  - укупан број производних серија  $x$ ,  $x_0$  - оптимална производна серија  $SP$ -а (слика 36),  $t$  - период између две суседне производне серије  $x$  (слика 34)  $SP$ -а,  $f_1(x)$  - функција фиксних трошкова  $C_0$  по производној серији  $x$ ,  $F_1(x)$  - функција укупних фиксних трошкова по поруџбини  $X$  (слике 35, 36),  $f_2(x)$  - функција променљивих трошкова по производној серији  $x$ ,  $F_2(x)$  - функција укупних променљивих трошкова по поруџбини  $X$  (слике 35, 36),  $F(x)$  - функција укупних трошкова поруџбине  $X$  у зависности од величине производне серије  $x$   $SP$ -а (слике 35, 36),  $c_1$  - променљиви трошкови по јединици  $SP$ -а у јединици времена (по дану),  $C$  - укупни остварени трошкови (расходи)  $PPS$ -а, на годишњем нивоу, у зависности од реализоване производње  $\sum N\check{C}$ ,  $T_m$  - укупни трошкови директног материјала,  $T_r$  - укупни трошкови директног рада,  $T_o$  - укупни остали трошкови (фиксни и релативно фиксни),  $VN\check{C}$  - просечна вредност свих трошкова  $PPS$ -а, осим трошкова директног материјала, по норма часу реализоване производње,  $V_r$  - просечна вредност зарада радника ангажованих у процесу производње  $SP$ -а по норма часу остварене производње,  $V_{ov}$  - просечна вредност осталих варијабилних трошкова по норма часу остварене производње,  $V_{oc}$  - просечна вредност укупних фиксних трошкова по норма часу остварене производње,  $W_m$  - трошкови директног материјала по јединици  $SP$ -а,  $W_r$  - трошкови директног рада по јединици  $SP$ -а,  $W_{ov}$  - јединични остали варијабилни трошкови  $SP$ -а,  $T_G$  - обрачунски период од

једне године,  $t_n$  - временска норма  $SP$ -а,  $t_k$  - време по комаду  $SP$ -а,  $t_r$  - време по комаду  $r$ - те производне фазе  $SP$ -а,  $t_{i,j}$  - норматив времена  $i$ - тог  $SP$ -а ( $X_i$ ) у  $j$ -тој организационој целини,  $T_r^{(pz)}$  - припремно - завршно време  $r$ - те производне фазе  $SP$ -а,  $T_{pz}$  - укупно припремно - завршно време  $SP$ -а,  $C_{mj}$  - цена по јединици мере  $j$ - те врсте основног материјала,  $S_{i,j}$  - норматив  $j$ -те врсте основног материјала дефинисан на нивоу  $SP$ -а ( $X_i$ ),  $s_{r,j}$  - норматив  $j$ -те врсте основног материјала дефинисан на нивоу  $r$ - те производне фазе  $SP$ -а.

**Модел за оптимизацију производне серије  $SP$ -а** заснива се на утврђивању и анализи укупног износа трошкова, за одговарајући обим производње, и њихово раслојавање на фиксну и варијабилну компоненту. У зависности од степена коришћења капацитета  $PPS$ -а [166, 203], гледано кроз призму зона [167] запослености (зона дегресије  $\rightarrow \eta = 0 - 80\%$ , зона оптимума  $\rightarrow \eta = 80 - 90\%$ , зона прогресије  $\rightarrow \eta = 80 - 100\%$ ), сви трошкови могу се поделити на три велике групе [11, 33, 170]: трошкови директног материјала, трошкови директног рада и остали трошкови односно на: пропорционалне, фиксне и релативно фиксне.

*Пропорционални трошкови* се кроз све зоне мењају у директној сразмери са обимом производње. То значи да се мењају у истом смеру и интензитету као и обим производње односно, сразмерно степену коришћења капацитета  $\eta$ . Ови трошкови обухватају: трошкове директног - основног материјала, зараде радника ангажованих на изради производа, трошкове енергије на технолошким радним местима, трошкове амортизације обрачунате функционалном методом.

*Фиксни трошкови* се не мењају са променом обима производње па због своје нееластичности називају се и константним или сталним трошковима. По својој природи условљени су самим постојањем предузећа и садрже две компоненте. Прва компонента обухвата трошкове успостављеног капацитета: амортизација обрачуната временском методом, трошкови осигурања средстава за рад, оснивачки трошкови, трошкови камата за кредитирање изградње и набавке основних средстава, трошкови закупа земљишта или објеката, трошкови режијских материјала и ситног инвентара итд. Друга компонента детерминисана

је коришћењем успостављеног капацитета тако да обухвата фиксне трошкове који су условљени организационом структуром: трошкови управе, рачуноводствене, финансијске, кадровске и опште функције, трошкови физичког обезбеђења, противпожарне заштите и одржавања хигијене.

*Релативно фиксни трошкови* имају скоковите промене само при преласку из једне у другу зону запослености, при чему у оквиру појединих зона остају непромењени. Динамика ових трошкова, у односу на обим производње, може бити прогресивна, пропорционална или дегресивна. Пропорционалност трошкова при преласку из ниже зоне у вишу није иста као при преласку са више у нижу. Трошкови се при преласку из више зоне у нижу смањују али не у истом процентуалном износу и ритму, већ знатно спорије. Ова појава заостајања релативно фиксних трошкова, при смањењу обима производње, назива се реманентност. Релативно фиксни трошкови обухватају трошкове рада и материјала који настају на нетехнолошким радним местима у припремној и завршној фази процеса производње: трошкови оперативне припреме, трошкови производног менаџмента, трошкови контроле, трошкови рада на транспортним и другим помоћним операцијама, трошкови одржавања, трошкови погонске енергије и помоћног материјала, трошкови техничке функције, набавке и продаје.

За рашчлањавање укупних трошкова најчешће се користи књиговодствена метода и метода варијатора (кофицијената реакбилности). Књиговодствена метода се базира на књиговодственим подацима о врстама и износу трошкова при одређеном степену коришћења капацитета. На основу познавања основних карактеристика свих врста трошкова врши се груписање на апсолутно фиксне (*AFT*), релативно фиксне (*RFT*) и пропорционалне (*PT*). Помоћу варијатора разврставају се релативно фиксни трошкови на апсолутно фиксну (*ARFT*) и пропорционалну компоненту (*PRFT*). Коефицијент реакбилности  $r$  означава удео пропорционалне компоненте у одређеној врсти трошка, релација (119).

$$AFT \Rightarrow r = 0, PT \Rightarrow r = 1, RFT \Rightarrow 0 < r < 1, PRFT = r \cdot RFT \wedge ARFT = (1 - r) \cdot RFT \quad (119)$$

Производни програм *PPS*-а чини коначан број сложених производа ( $X_i$ ) при чему је обим производње сваког производа детерминисан обимом ( $Q_i$ ) и

временском нормом ( $t_{ni}$ ). Због хетерогене производње више различитих производа, физички обим производње на нивоу *PPS*-а може се изразити преко еквивалентне количине ( $Q_r$ ) одабраног производа репрезентанта [34], или преко норма часова ( $\sum N\check{C}$ ). Теоријски модел за прорачун оптималне производне серије захтева да се укупан обим производње *PPS*-а искаже у норма часовима. Преко аналитичке вредности норма часа ( $VN\check{C}$ ), релација (109), врши се раслојавање укупних трошкова, на нивоу *PPS*-а, али и њихово груписање у фиксну и варијабилну компоненту, на нивоу *SP*-а, релације (111) и (114).

Погрешна је тврдња [4, 14] да се оптимална производна серија  $x_o$  може добити из услова једнакости фиксних  $F_1(x)$  и варијабилних трошкова  $F_2(x)$ , слика 35. У тачки  $x_p$  њиховог пресека, слика 36, укупни трошкови  $F(x)$  најчешће нису минимални тако да није задовољен усвојен критеријум оптимизације. Такође треба скренути пажњу да ознаке  $p$  (дневна потреба) и  $q$  (дневна производња), које фигуришу у формули (92), литературни извори [14, 15, 18, 77, 110], имају погрешна значења, што утиче на тачност при прорачуну. Обзиром да је усвојена претпоставка да динамика дневне производње буде већа од динамике тражње (потреба), тада  $p$  треба да означава дневну производњу а  $q$  дневну потребу, како је и наведено у поглављу 3.4.1 приликом тумачења ознака.

### 3.5 Модели за прорачун технолошких циклуса

За разлику од производног циклуса, кога обликују детерминистичке и стохастичке активности у процесу производње, на технолошки циклус утичу само детерминистичке активности које су пројектоване технолошким поступцима за израду и монтажу. Величина производне серије, степен детаљисања и квалитет разраде технолошких поступака пресудно утичу на трајање технолошког циклуса. Што је производња масовнија степен детаљисања је већи, па су, технолошким операцијама, обухваћени и природни процеси, процеси контроле и транспорта.

Због недостатака одговарајућих информација из производне документације често је немогуће прецизно утврдити реперне тачке *PC*-а, па се почетак производње везује за датум лансирања *RN*-а или за датум требовања одговарајућег инпута. Завршетак производње се обично везује за извештаје

контроле тј. за датум завршног пријема серије, или за датум примопредаје предмета рада у одговарајуће складиште. Када се разматра трајање технолошког циклуса ( $TC$ -а) реперне тачке, између којих тече време, су прецизно дефинисане почетком производње првог комада из серије, на првој операцији, и завршетком последњег комада из серије, на задњој технолошкој операцији. Може се закључити да је трајање  $TC$ -а краће од производног, за губитке у циклусу, па посматрано у том контексту, технолошки циклус се може поистоветити са идеалним производним циклусом. Губици су условљени скупом нежељених стохастичких активности које изазивају застоје и чекања по разним основама.

Поред величине производне серије ( $q$ ) и пројектоване технологије ( $t_i, i = \overline{1, n}$ ), на трајање  $TC$ -а утичу још величина производно - транспортне партије ( $p$ ) и начин кретања предмета рада у процесу производње (формуле (2) и (3), најновија руска литература [8,122]). У формулама које су заступљене у нашој литератури, релације (6) - (12), полази се од претпоставке да производна партија садржи само један комад ( $p=1$ ) предмета рада, независно од величине производне серије  $q$ . Прорачун трајања  $TC$ -а, у зависности од начина кретања предмета рада у процесу производње, заступљен је у скоро свим радовима који се баве овом проблематиком. Постоји више различитих приступа и формула за прорачун трајања  $TC$ -а, при чему је конфузија присутна на свим нивоима, почев од технолошке операције, производне фазе, па закључно са  $SP$ -ом.

Прво ће се истражити трајање  $TC$ -а операције, затим производне фазе поређењем времена две односно три суседне операције, и на крају сложеног производа. Анализираће се и односи између технолошких циклуса у зависности од трајања операција, начина кретања предмета рада и величине производне партије. Треба нагласити да у литератури не постоје егзактне формуле за прорачун технолошких циклуса  $SP$ -а, већ су, у радовима, дате теоријске препоруке или се најчешће описује пракса, кроз студије случаја.

Истраживање модела за прорачун трајања  $TC$ -а је од изузетног значаја, јер они представљају основу за утврђивање губитака у циклусу, са једне стране, али и за пројектовање циклуса производње, са друге стране. Један од циљева докторске дисертације је провера валидности постојећих и истраживање нових формула за прорачун технолошких циклуса операција, делова и сложеног производа.



### 3.5.1 Технолошки циклус операције и производне фазе

На трајање  $TC$ -а ( $t_t$ )  $PF$ -е утиче: укупан број ( $n$ ) операција, времена технолошких операција  $\theta_n = (t_i, i = \overline{1, n})$ , величина производне серије ( $q$ ) и партије ( $p$ ), и кретање предмета рада ( $KPR$ ), које може бити узастопно ( $U$ ), паралелно ( $P$ ) и комбиновано ( $K$ ), релација (120). У руској литератури присутни су и други параметри, на пример број радних места ( $c_i$ ), формуле (2) и (3). Обзиром да се ради о организационом елементу, који је од утицаја на пројектовање циклуса, његов утицај на  $TC$  је елиминисан уз претпоставку да се свака технолошка операција извршава на једном радном месту ( $c_i = 1$ ).

$$A = \{n, \theta_n, q, p, KPR\} = \{n, (t_i, i = \overline{1, n}), q, p, \{U, P, K\}\} \Rightarrow t_t = \{t_t^{(u)}, t_t^{(p)}, t_t^{(k)}\} \quad (120)$$

**Под производном партијом** ( $p$ ) подразумева се мања количина предмета рада, у оквиру производне серије ( $q$ ), која се транспортује између ограниченог броја радних места, са циљем да се обезбеди повезаност и континуитет у процесу производње, сагласно технолошком поступку и пројектованом режиму рада. Величина производне партије ( $p$ ) зависи од: типа производње, величине производне серије, врсте технолошког процеса, методе организације производње (проточна, непроточна), транспортних средстава и трајекторије, сигурносних залиха и обима недовршене производње, укупног броја технолошких операција и њиховог трајања. Однос између производне серије и партије ( $N_p$ ) и границе у оквиру којих може да осцилује величина партије дефинисани су помоћу релације (121), са настојањем да серија и партија теже својим оптималним вредностима.

$$N_p = \frac{q}{p}, \quad 1 \leq p \leq q, \quad q \rightarrow q_o \wedge p \rightarrow p_o \quad (121)$$

Основна карактеристика **узастопног** начина организације тока редоследа операција ( $U$ ) огледа се у производњи без преклапања. Тек када се заврши производња задњег комада из серије, на претходној операцији, може да почне производња првог комада на наредној операцији. Узастопни тип омогућава једноставно планирање и праћење производње и лако опслуживање радних места међутим, има најдуже време трајања циклуса. Примењује се у појединачној производњи сложених производа и малосеријској производњи када је заступљен разноврстан производни програм мање сложености.

**Паралелни** тип организације тока редоследа операција ( $P$ ) карактерише производња са преклапањем партија из производне серије. Када се заврши производња задњег комада из партије, на претходној операцији, започиње производња првог комада из партије на следећој. Уколико у партији има само један комад тада сваки комад из серије по завршетку претходне операције прелази одмах на наредну. Паралелни тип организације тока редоследа операција има следеће карактеристике:

- најмање вредности производног циклуса што има за последицу најкраће време ангажовања обртних средстава,
- идеалан је за примену у случајевима када су дужине трајања појединих операција исте или пропорционалне,
- захтева високу технолошку дисциплину и висок ниво синхронизације свих учесника у послу,
- на појединим радним местима изазива дисконтинуитет у производњи и мање коришћење капацитета,
- углавном се примењује у великосеријској и масовној производњи.

**Комбиновани** (узастопно - паралелни) начин кретања предмета рада ( $K$ ) у процесу производње представља комбинацију претходна два начина. Циљ је да се елиминишу застоји који се појављују услед различитог трајања операција на појединим радним местима (операцијама) при паралелном типу. Комбиновани начин кретања најчешће се сусреће у серијској производњи.

### 3.5.1.1 Провера валидности постојећих и истраживање нових формула

Технолошка операција је најнижи ниво на коме се анализира трајање циклуса  $t_i^{(o)}$ . Ако се прорачун изводи за партију  $p$ , тада трајање циклуса  $i$ -те операције не зависи од начина кретања предмета рада ( $U, P, K$ ) већ само од величине партије ( $p$ ) и времена по комаду ( $t_i$ ), релација (122). Уколико се прорачун технолошких циклуса операција изводи за серију делова  $q$ , која садржи више партија  $p$ , тада начин кретања предмета рада ( $KPR$ ) може да утиче на трајање, релација (123). Укупни технолошки унутароперацијски застоји  $\tau_{uo_i}$ , који могу да се појаве између партија, једнаки су нули за узастопни ( $U$ ) и комбиновани ( $K$ ) начин

кретања предмета рада, за све операције ( $i$ ) посматране  $PF$ -е. Трајање технолошких циклуса операција по узастопном  $t_i^{(o,u)}$  и комбинованом  $t_i^{(o,k)}$  начину организације производње серије ( $q$ ), може се израчунати помоћу (124).

$$p : t_i^{(o)} \neq f(KPR), \quad t_i^{(o)} = p \cdot t_i \mid \forall i = \overline{1, n} \quad (122)$$

$$q : t_i^{(o)} = \{t_i^{(o,u)}, t_i^{(o,p)}, t_i^{(o,k)}\} = f(KPR) \quad (123)$$

$$q : (t_i^{(o,u)} \wedge t_i^{(o,k)} \Rightarrow \tau_{uo_i} = 0 \mid i = \overline{1, n}) \Rightarrow t_i^{(o,u)} = t_i^{(o,k)} = N_p \cdot p \cdot t_i = q \cdot t_i \quad (124)$$

Код паралелног ( $P$ ) начина кретања технолошки унутароперацијски застоји  $\tau_{uo_i}$  могу да буду већи или једнаки нули, тако да се трајање технолошких циклуса операција  $t_i^{(o,p)}$ , по паралелном начину кретања делова, у оквиру производне серије  $q$ , може израчунати по формули (125).

$$q : (t_i^{(o,p)} \Rightarrow \tau_{uo_i} \geq 0 \mid i = \overline{1, n}) \Rightarrow t_i^{(o,p)} = N_p \cdot p \cdot t_i + \tau_{uo_i} = q \cdot t_i + \tau_{uo_i} \Rightarrow t_i^{(o,p)} = q \cdot t_i + \tau_{uo_i} = t_i^{(o,k)} + \tau_{uo_i} = t_i^{(o,u)} + \tau_{uo_i} \quad (125)$$

У зависности од положаја ( $i$ ) операције и времена по комаду ( $t_i$ ), укупни технолошки унутароперацијски застоји могу се прорачунати помоћу формуле (126). Положај операција код којих укупни технолошки унутароперацијски застоји износе нула, при паралелном начину кретања предмета рада, може се израчунати из услова (127). Услов је испуњен код прве и најдуже операције, али и осталих операција код којих је време по комаду веће од свих претходних.

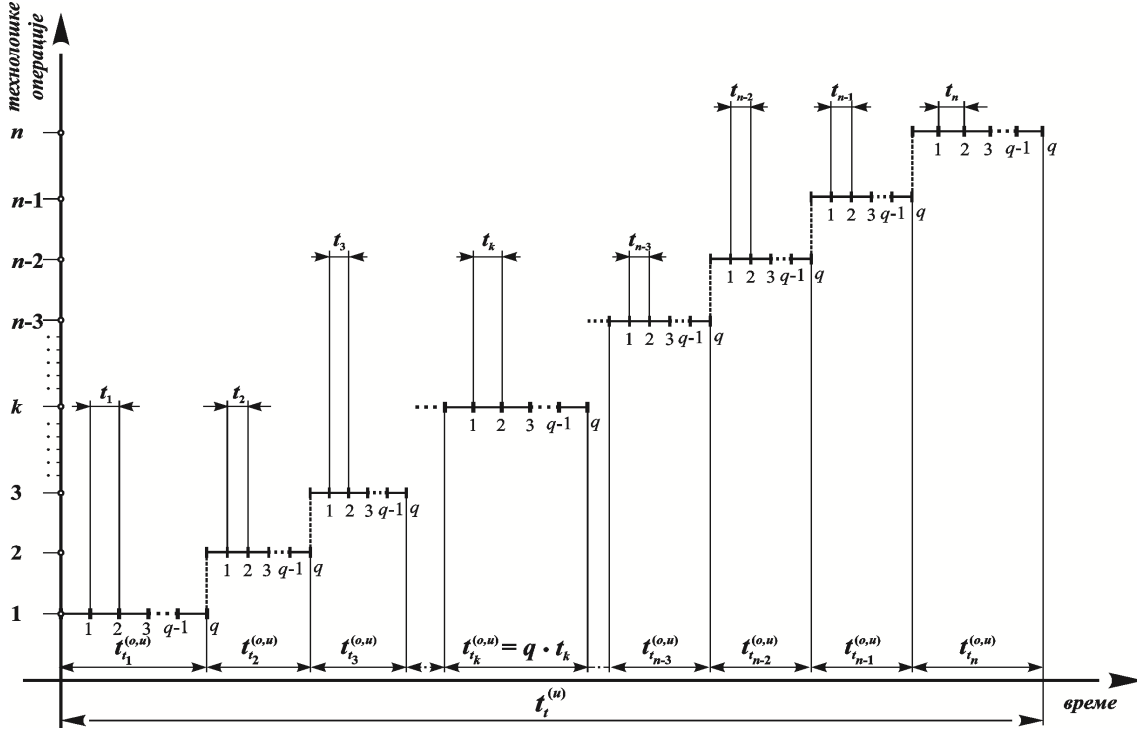
$$\tau_{uo_i} = \left( \max_j \{t_j, j = \overline{1, i}\} - t_i \right) \cdot (q - p) = \left( \max_j \{t_j, j = \overline{1, i}\} - t_i \right) \cdot (N_p - 1) \cdot p, \quad \forall i = \overline{1, n} \quad (126)$$

$$\tau_{uo_i} = 0 \Rightarrow t_i = \max_j \{t_j, j = \overline{1, i}\} \quad \forall i, j \in \{1, 2, 3, \dots, n\} \quad (127)$$

На слици 37 приказан је узастопни начин ( $U$ ) производње серије делова  $q$ , у оквиру једне партије ( $N_p = 1 \Rightarrow q = p$ ), која је детерминисана са  $n$  технолошких операција, релација (128).

$$PF = (x_j \mid j = \overline{1, m}), \quad A = \{n, \theta_n, q, p = q, U\}, \quad \theta_n = (t_i \mid i = \overline{1, n}) = (t_1, t_2, t_3, \dots, t_k, \dots, t_n) \quad (128)$$

Трајање  $t_i^{(u)}$  технолошког циклуса било које  $PF$ -е ( $x_j$ )  $SP$ -а, по узастопном ( $U$ ) начину кретања предмета рада (слика 37), једнако је збиру технолошких циклуса свих операција помоћу којих је дефинисан њен процес производње (129).



Слика 37: Узастопни ( $U$ ) начин производње серије  $q$  у оквиру једне партије  $N_p=1$

Производна серија било које  $PF$ -е у количини  $q$  реализује се у оквиру једне партије ( $N_p = 1$ ), што значи да је број комада у производној серији идентичан са бројем комада у производној партији.

$$N_p = 1 \Rightarrow q = p \wedge (124) \Rightarrow t_{t_k}^{(o,u)} = q \cdot t_k, k = \overline{1, n}$$

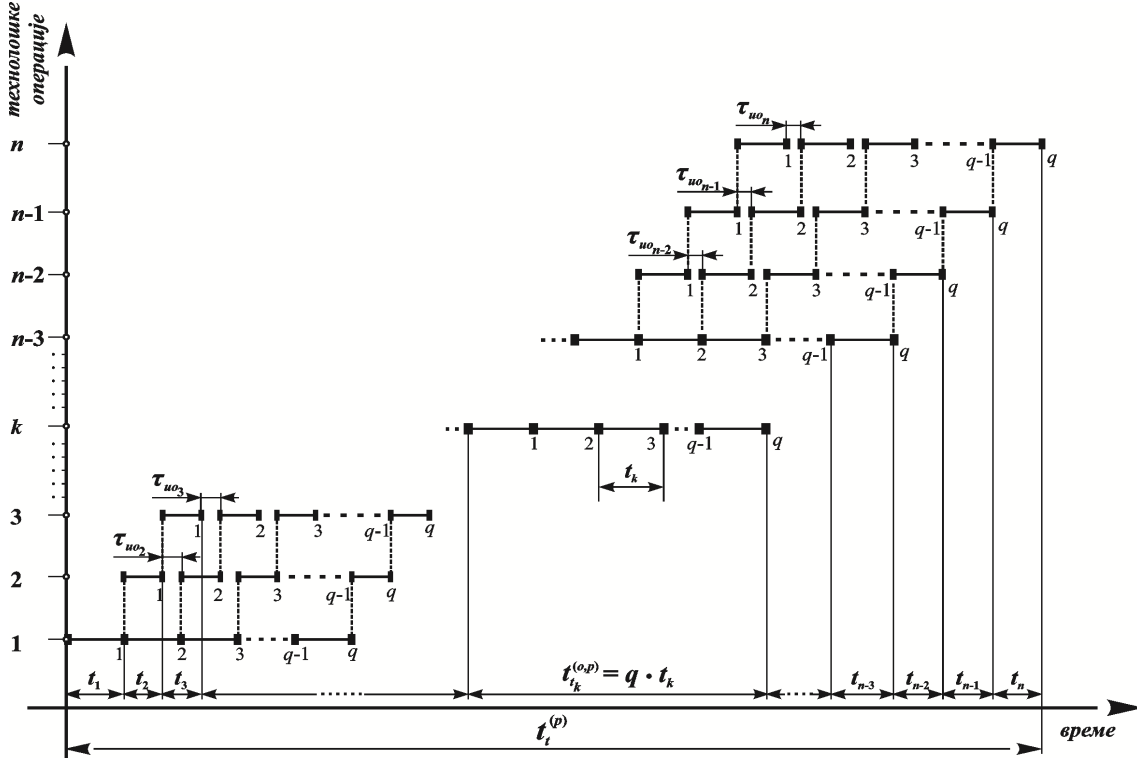
$$t_t^{(u)} = t_{t_1}^{(o,u)} + t_{t_2}^{(o,u)} + t_{t_3}^{(o,u)} + \dots + t_{t_k}^{(o,u)} + \dots + t_{t_{n-1}}^{(o,u)} + t_{t_n}^{(o,u)} = \sum_{i=1}^n t_{t_i}^{(o,u)} = \sum_{i=1}^n q \cdot t_i \Rightarrow$$

$$t_t^{(u)} = q \cdot \sum_{i=1}^n t_i, \quad (\forall x_j | j = \overline{1, m}) \in PF \wedge A = \{n, \theta_n, q = p, U\} \quad (129)$$

Паралелан начин ( $P$ ) серијске производње  $q$ , неке  $PF$ -е ( $x_j$ )  $SP$ -а, која се производи у партијама по један комад ( $p=1$ ), дефинисан је помоћу релације (130) односно, приказан је на слици 38.

$$PF = (x_j | j = \overline{1, m}), A = \{n, \theta_n, q, p = 1, P\}, \theta_n = (t_i | i = \overline{1, n}), t_k = \max\{t_i | i = \overline{1, n}\} \quad (130)$$

Трајање  $t_t^{(p)}$  технолошког циклуса  $PF$ -е ( $x_j$ )  $SP$ -а по паралелном начину ( $P$ ) кретања предмета рада одредиће се помоћу технолошког циклуса  $t_{t_k}^{(o,p)}$  најдуже ( $k$ -те) технолошке операције.



Слика 38: Паралелан (P) начин производње серије q по партијама од p=1 комад

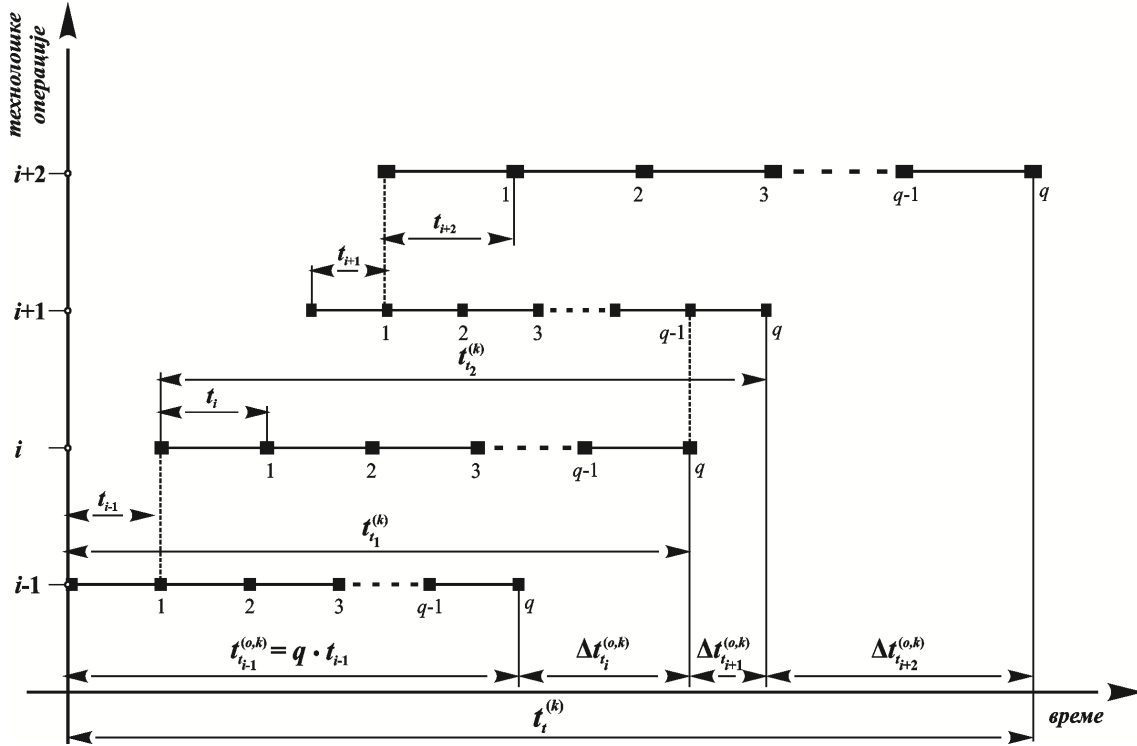
$$\begin{aligned}
 t_t^{(p)} &= t_1 + t_2 + t_3 + \dots + t_k^{(o,p)} + \dots + t_{n-3} + t_{n-2} + t_{n-1} + t_n = \\
 &= t_1 + t_2 + t_3 + \dots + t_{n-3} + t_{n-2} + t_{n-1} + t_n + q \cdot t_k = \\
 &= t_1 + t_2 + t_3 + \dots + t_k + \dots + t_{n-3} + t_{n-2} + t_{n-1} + t_n + (q-1) \cdot t_k = \\
 &= \sum_{i=1}^n t_i + (q-1) \cdot t_k, \quad (\forall x_j | j = \overline{1, m}) \in PF \wedge A = \{n, \theta_n, q, p = 1, P\} \wedge t_k = \max\{t_i | i = \overline{1, n}\} \Rightarrow \\
 t_t^{(p)} &= \sum_{i=1}^n t_i + (q-1) \cdot t_{\max}, \quad t_{\max} = \max\{t_i | i = \overline{1, n}\} \wedge A = \{n, \theta_n, q, p = 1, P\} \quad (131)
 \end{aligned}$$

$$t_t^{(p)} = p \cdot \sum_{i=1}^n t_i + (q-p) \cdot t_{\max}, \quad t_{\max} = \max\{t_i | i = \overline{1, n}\} \wedge A = \{n, \theta_n, q, p, P\} \quad (132)$$

Релација (132) добијена је уопштавањем формуле (131). За  $p = 1$  релација (132) трансформише се у (131) а за  $p = q$  у (129) која важи за узастопни начин кретања.

Истраживање формуле за прорачун технолошког циклуса PF-е  $x_j$  у количини  $q$ , по комбинованом начину (K) кретања предмета рада по партијама од  $p = 1$  комад, засниваће се на поређењу времена три суседне операције (133), слика 39.

$$\begin{aligned}
 x_j : n = 4 &\Rightarrow A = \{4, \theta_4, q, p = 1, K\}, \quad \theta_4 = (t_{i-1}, t_i, t_{i+1}, t_{i+2}), \\
 t_{i-1} < t_i \geq t_{i+1} < t_{i+2} &\Rightarrow (i) : t_{i-1} < t_i \geq t_{i+1} \quad \wedge \quad (i+1) : t_i \geq t_{i+1} < t_{i+2} \quad (133)
 \end{aligned}$$



Слика 39: Комбинован (K) начин производње серије  $q$  по партијама од  $p=1$  комад

Уочити да је време  $i$ -те технолошке операције веће од претходне ( $i-1$ ) а веће или једнако од наредне ( $i+1$ ). Уколико се посматра ( $i+1$ ) операција тада је она краћа или једнака од претходне ( $i$ ) односно, краћа од наредне ( $i+2$ ). Може се закључити да је  $i$ -та технолошка операција у принципу најдужа а ( $i+1$ ) најкраћа у односу на суседне. Трајање  $t_i^{(k)}$  (135) технолошког циклуса  $PF$ -е, која садржи 4 операције ( $n = 4$ ), по комбинованом начину (K) кретања предмета рада, одредиће се на основу слике 39 и релација (124) и (134).

$$(124) \Rightarrow \tau_{uo_i} = 0 \Rightarrow t_{i_j}^{(o,k)} = q \cdot t_j \mid j = \overline{i-1, i+2} \quad (134)$$

$$\begin{aligned} \text{slika 39} \Rightarrow t_{t_1}^{(k)} &= t_{t_i}^{(o,k)} + t_{i-1} = t_{i-1} + q \cdot t_i, & t_{t_2}^{(k)} &= t_{t_i}^{(o,k)} + t_{i+1} = t_{i+1} + q \cdot t_i \\ \Delta t_{t_i}^{(o,k)} &= t_{t_1}^{(k)} - t_{t_{i-1}}^{(o,k)} = t_{i-1} + q \cdot t_i - q \cdot t_{i-1}, & \Delta t_{t_{i+1}}^{(o,k)} &= t_{t_2}^{(k)} - t_{t_i}^{(o,k)} = t_{i+1} \\ \Delta t_{t_{i+2}}^{(o,k)} &= t_{t_{i+2}}^{(o,k)} - (q-1) \cdot t_{i+1} = q \cdot t_{i+2} - (q-1) \cdot t_{i+1} = t_{i+2} + (q-1) \cdot (t_{i+2} - t_{i+1}) \end{aligned}$$

$$\text{slika 39} \Rightarrow t_t^{(k)} = t_{t_{i-1}}^{(o,k)} + \Delta t_{t_i}^{(o,k)} + \Delta t_{t_{i+1}}^{(o,k)} + \Delta t_{t_{i+2}}^{(o,k)} \Rightarrow$$

$$\begin{aligned} t_t^{(k)} &= q \cdot t_{i-1} + t_{i-1} + q \cdot t_i - q \cdot t_{i-1} + t_{i+1} + t_{i+2} + (q-1) \cdot (t_{i+2} - t_{i+1}) = \\ &= t_{i-1} + t_i + t_{i+1} + t_{i+2} + (q-1) \cdot t_i + (q-1) \cdot (t_{i+2} - t_{i+1}) = \\ &= t_{i-1} + t_i + t_{i+1} + t_{i+2} + (q-1) \cdot [(t_i + t_{i+2}) - t_{i+1}] \Rightarrow \end{aligned}$$

$$t_i^{(k)} = \sum_{\alpha=i-1}^{i+2} t_\alpha + (q-1) \cdot [(t_i + t_{i+2}) - t_{i+1}], A = \{4, \theta_4, q, p=1, K\} \wedge t_{i-1} < t_i \geq t_{i+1} < t_{i+2} \quad (135)$$

Уколико се, сагласно релацији (133), изврши поређење времена суседних операција, у оквиру технолошког поступка за израду неке  $PF$ -е  $\theta_n$  који има  $n$  операција (136), добиће се подскупови  $k$ -тих (137) и  $j$ -тих операција (138).

$$\theta_n \Rightarrow (k : t_{k-1} < t_k \geq t_{k+1} \wedge j : t_{j-1} \geq t_j < t_{j+1}) \mid k, j \in \{i, i = \overline{1, n}\}, t_0 = t_{n+1} = 0 \quad (136)$$

$$\begin{aligned} k=1 &\Rightarrow t_0 < t_1 \geq t_2 \Rightarrow 0 < t_1 \geq t_2 \Rightarrow (t_1 > 0 \wedge t_1 \geq t_2) \Rightarrow t_1 \geq t_2 \\ k=n &\Rightarrow t_{n-1} < t_n \geq t_{n+1} \Rightarrow t_{n-1} < t_n \geq 0 \Rightarrow (t_n \geq 0 \wedge t_n > t_{n-1}) \Rightarrow t_n > t_{n-1} \\ t_k &\in (t_i \mid i = \overline{1, n}) \wedge k = \left\{ \left\{ k=1 \mid t_1 \geq t_2 \right\}, \left\{ k = \overline{2, n-1} \mid t_{k-1} < t_k \geq t_{k+1} \right\}, \left\{ k=n \mid t_n > t_{n-1} \right\} \right\} \quad (137) \end{aligned}$$

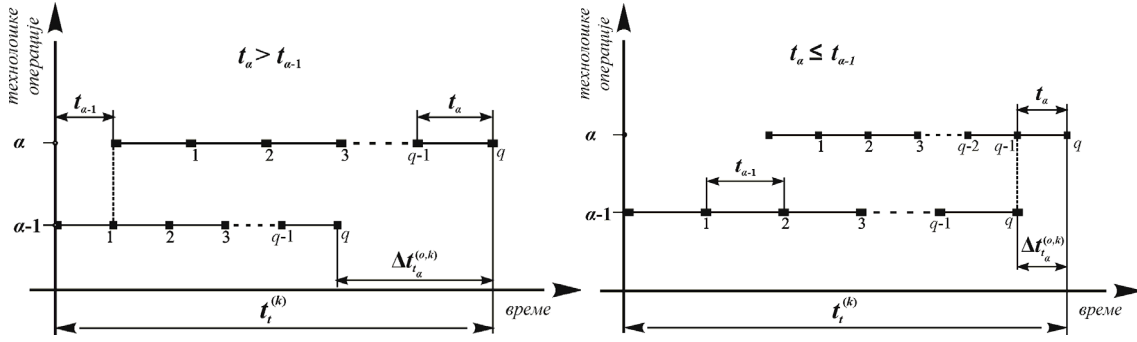
$$\begin{aligned} j=1 &\Rightarrow t_0 \geq t_1 < t_2 \Rightarrow 0 \geq t_1 < t_2 \Rightarrow j \neq 1 (t_1 > 0) \\ j=n &\Rightarrow t_{n-1} \geq t_n < t_{n+1} \Rightarrow t_{n-1} \geq t_n < 0 \Rightarrow j \neq n (t_n > 0) \\ \left\{ (j \neq 1 \wedge j \neq n) \Rightarrow (t_1 \wedge t_n) \notin t_j \right\} &\Rightarrow \left\{ t_j \in (t_i \mid i = \overline{2, n-1}) \wedge j = \left\{ \overline{2, n-1} \mid t_{j-1} \geq t_j < t_{j+1} \right\} \right\} \quad (138) \end{aligned}$$

Ако се на релацију (135) примене услови који треба да задовоље  $k$ -те (137) и  $j$ -те (138) технолошке операције, тада се она трансформише у (139). Формула (140) добија се уопштавањем формуле (139) за вредности партије веће од један.

$$\begin{aligned} (135), (137), (138) &\Rightarrow \{i, i+2\} \in k \wedge \{i+1\} \in j \Rightarrow t_i^{(k)} = \sum_{\alpha=i-1}^{i+2} t_\alpha + (q-1) \cdot \left( \sum_k t_k - \sum_j t_j \right) \Rightarrow \\ \forall i = \overline{1, n} &\Rightarrow t_i^{(k)} = \sum_{i=1}^n t_i + (q-1) \cdot \left( \sum_k t_k - \sum_j t_j \right), (\forall x_j \mid j = \overline{1, m}) \in PF \wedge A = \{n, \theta_n, q, p=1, K\}, \\ t_k &\in (t_i \mid i = \overline{1, n}) \wedge k = \left\{ \left\{ k=1 \mid t_1 \geq t_2 \right\}, \left\{ k = \overline{2, n-1} \mid t_{k-1} < t_k \geq t_{k+1} \right\}, \left\{ k=n \mid t_n > t_{n-1} \right\} \right\} \wedge \\ &\wedge t_j \in (t_i \mid i = \overline{2, n-1}) \wedge j = \left\{ \overline{2, n-1} \mid t_{j-1} \geq t_j < t_{j+1} \right\} \quad (139) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} t_i^{(k)} &= p \cdot \sum_{i=1}^n t_i + (q-p) \cdot \left( \sum_k t_k - \sum_j t_j \right), (\forall x_j \mid j = \overline{1, m}) \in PF \wedge A = \{n, \theta_n, q, p, K\}, \\ t_k &\in (t_i \mid i = \overline{1, n}) \wedge k = \left\{ \left\{ k=1 \mid t_1 \geq t_2 \right\}, \left\{ k = \overline{2, n-1} \mid t_{k-1} < t_k \geq t_{k+1} \right\}, \left\{ k=n \mid t_n > t_{n-1} \right\} \right\} \wedge \\ &\wedge t_j \in (t_i \mid i = \overline{2, n-1}) \wedge j = \left\{ \overline{2, n-1} \mid t_{j-1} \geq t_j < t_{j+1} \right\} \quad (140) \end{aligned}$$

Истраживање формуле за прорачун технолошког циклуса  $PF$ -е  $x_j$   $SP$ -а по комбинованом начину ( $K$ ) кретања предмета рада, по партијама од  $p=1$  комад у оквиру производне серије  $q$ , може да се заснива и на поређењу времена две суседне операције  $(\alpha-1, \alpha)$ , слике 40 и 41.



Слика 40:  $\theta_2 = (t_{\alpha-1}, t_\alpha), t_\alpha > t_{\alpha-1}, p = 1$       Слика 41:  $\theta_2 = (t_{\alpha-1}, t_\alpha), t_\alpha \leq t_{\alpha-1}, p = 1$

Трајање  $t_\alpha$  неке операције  $\alpha$  може да буде веће (слика 40) односно, мање или једнако (слика 41) у односу на трајање  $t_{\alpha-1}$  претходне операције  $\alpha - 1$  (141).

$$x_j : n = 2 \Rightarrow A = \{2, \theta_2, q, p = 1, K\}, \theta_2 = (t_{\alpha-1}, t_\alpha) \Rightarrow t_\alpha > t_{\alpha-1} \vee t_\alpha \leq t_{\alpha-1} \quad (141)$$

$$\begin{aligned} \text{slika 40, } t_\alpha > t_{\alpha-1} &\Rightarrow t_i^{(k)} = t_{\alpha-1} + t_{t_\alpha}^{(o,k)} = t_{\alpha-1} + q \cdot t_\alpha \vee t_i^{(k)} = t_{t_{\alpha-1}}^{(o,k)} + \Delta t_{t_\alpha}^{(o,k)} = \\ &= q \cdot t_{\alpha-1} + \Delta t_{t_\alpha}^{(o,k)} \Rightarrow \Delta t_{t_\alpha}^{(o,k)} = t_i^{(k)} - q \cdot t_{\alpha-1} = t_{\alpha-1} + q \cdot t_\alpha - q \cdot t_{\alpha-1} \Rightarrow \\ &\Delta t_{t_\alpha}^{(o,k)} = q \cdot t_\alpha - (q-1) \cdot t_{\alpha-1}, t_\alpha > t_{\alpha-1}, A = \{2, \theta_2, q, p = 1, K\} \end{aligned} \quad (142)$$

$$\begin{aligned} \text{slika 41, } t_\alpha \leq t_{\alpha-1} &\Rightarrow t_i^{(k)} = t_\alpha + t_{t_{\alpha-1}}^{(o,k)} = t_\alpha + q \cdot t_{\alpha-1} \vee t_i^{(k)} = t_{t_{\alpha-1}}^{(o,k)} + \Delta t_{t_\alpha}^{(o,k)} = \\ &= q \cdot t_{\alpha-1} + \Delta t_{t_\alpha}^{(o,k)} \Rightarrow \Delta t_{t_\alpha}^{(o,k)} = t_i^{(k)} - q \cdot t_{\alpha-1} = t_\alpha + q \cdot t_{\alpha-1} - q \cdot t_{\alpha-1} \Rightarrow \\ &\Delta t_{t_\alpha}^{(o,k)} = t_\alpha, t_\alpha \leq t_{\alpha-1}, A = \{2, \theta_2, q, p = 1, K\} \end{aligned} \quad (143)$$

$$\begin{aligned} (142) \wedge (143) &\Rightarrow \Delta t_{t_\alpha}^{(o,k)} = t_\alpha \cdot (1 - F_\alpha) + [q \cdot t_\alpha - (q-1) \cdot t_{\alpha-1}] \cdot F_\alpha = \\ &= t_\alpha - t_\alpha \cdot F_\alpha + q \cdot t_\alpha \cdot F_\alpha - q \cdot t_{\alpha-1} \cdot F_\alpha + t_{\alpha-1} \cdot F_\alpha \Rightarrow \\ &\Delta t_{t_\alpha}^{(o,k)} = t_\alpha - (t_\alpha - t_{\alpha-1}) \cdot F_\alpha + q \cdot (t_\alpha - t_{\alpha-1}) \cdot F_\alpha \Rightarrow \\ &\Delta t_{t_\alpha}^{(o,k)} = t_\alpha + (q-1) \cdot (t_\alpha - t_{\alpha-1}) \cdot F_\alpha, \\ &\forall \alpha | t_\alpha > t_{\alpha-1} \Rightarrow F_\alpha = 1 \quad \wedge \quad \forall \alpha | t_\alpha \leq t_{\alpha-1} \Rightarrow F_\alpha = 0 \end{aligned} \quad (144)$$

$$\text{slika 40} \Rightarrow t_i^{(k)} = q \cdot t_{\alpha-1} + \Delta t_{t_\alpha}^{(o,k)}, A = \{2, \theta_2, q, p = 1, K\} \wedge \alpha > 1 \quad (145)$$

$$\alpha = \overline{1, n} \Rightarrow \alpha = 1 \Rightarrow t_{\alpha-1} = t_{1-1} = t_0 = 0, t_0 \notin \{t_\alpha, \alpha = \overline{1, n}\} \Rightarrow$$

$$t_i^{(k)} = q \cdot t_{\alpha-1} + \sum_{\alpha=1}^n \Delta t_{t_\alpha}^{(o,k)} = q \cdot t_0 + \sum_{\alpha=1}^n \Delta t_{t_\alpha}^{(o,k)} \Rightarrow$$

$$t_i^{(k)} = \sum_{\alpha=1}^n \Delta t_{t_\alpha}^{(o,k)} = \sum_{\alpha=1}^n [t_\alpha + (q-1) \cdot (t_\alpha - t_{\alpha-1}) \cdot F_\alpha] = \sum_{\alpha=1}^n t_\alpha + (q-1) \cdot \sum_{\alpha=1}^n (t_\alpha - t_{\alpha-1}) \cdot F_\alpha \Rightarrow$$



$$t_i^{(k)} = \sum_{\alpha=1}^n t_{\alpha} + (q-1) \cdot \left( t_1 + \sum_{\alpha=2}^n (t_{\alpha} - t_{\alpha-1}) \cdot F_{\alpha} \right), \quad (\forall x_j | j = \overline{1, m}) \in PF,$$

$$\forall \alpha | t_{\alpha} > t_{\alpha-1} \Rightarrow F_{\alpha} = 1 \wedge \forall \alpha | t_{\alpha} \leq t_{\alpha-1} \Rightarrow F_{\alpha} = 0, \quad A = \{n, \theta_n, q, p = 1, K\} \quad (146)$$

$$t_i^{(k)} = p \cdot \sum_{\alpha=1}^n t_{\alpha} + (q-p) \cdot \left( t_1 + \sum_{\alpha=2}^n (t_{\alpha} - t_{\alpha-1}) \cdot F_{\alpha} \right), \quad (\forall x_j | j = \overline{1, m}) \in PF,$$

$$\forall \alpha | t_{\alpha} > t_{\alpha-1} \Rightarrow F_{\alpha} = 1 \wedge \forall \alpha | t_{\alpha} \leq t_{\alpha-1} \Rightarrow F_{\alpha} = 0, \quad A = \{n, \theta_n, q, p, K\} \quad (147)$$

За прорачун технолошког циклуса по комбинованом начину кретања предмета рада  $t_i^{(k)}$  постоји више образаца који су доступни у литератури: (3)  $\rightarrow$  [8, 61, 122, 148, 157, 190, 191, 214], (7)  $\rightarrow$  [70, 71, 180], (8)  $\rightarrow$  [19, 110], (9)  $\rightarrow$  [15, 18], (10)  $\rightarrow$  [14], (11)  $\rightarrow$  [108, 211], (12)  $\rightarrow$  [34, 40, 43], (18)  $\rightarrow$  [206] и који су истражени у овој дисертацији (139) и (146). На примеру вишеваријантне израде одабране  $PF$ -е, која је детерминисана са четири алтернативна технолошка поступка  $V_j$ , који имају по десет операција, извршиће се провера валидности наведених формула на основу поређења резултата који су добијени помоћу формула и гантових дијаграма. У табели 8 дати су потребни елементи за примену образаца а у табели 9 приказане су вредности технолошког циклуса добијене помоћу одговарајућих формула и гантограма (слика 42).

На основу добијених резултата може се констатовати следеће:

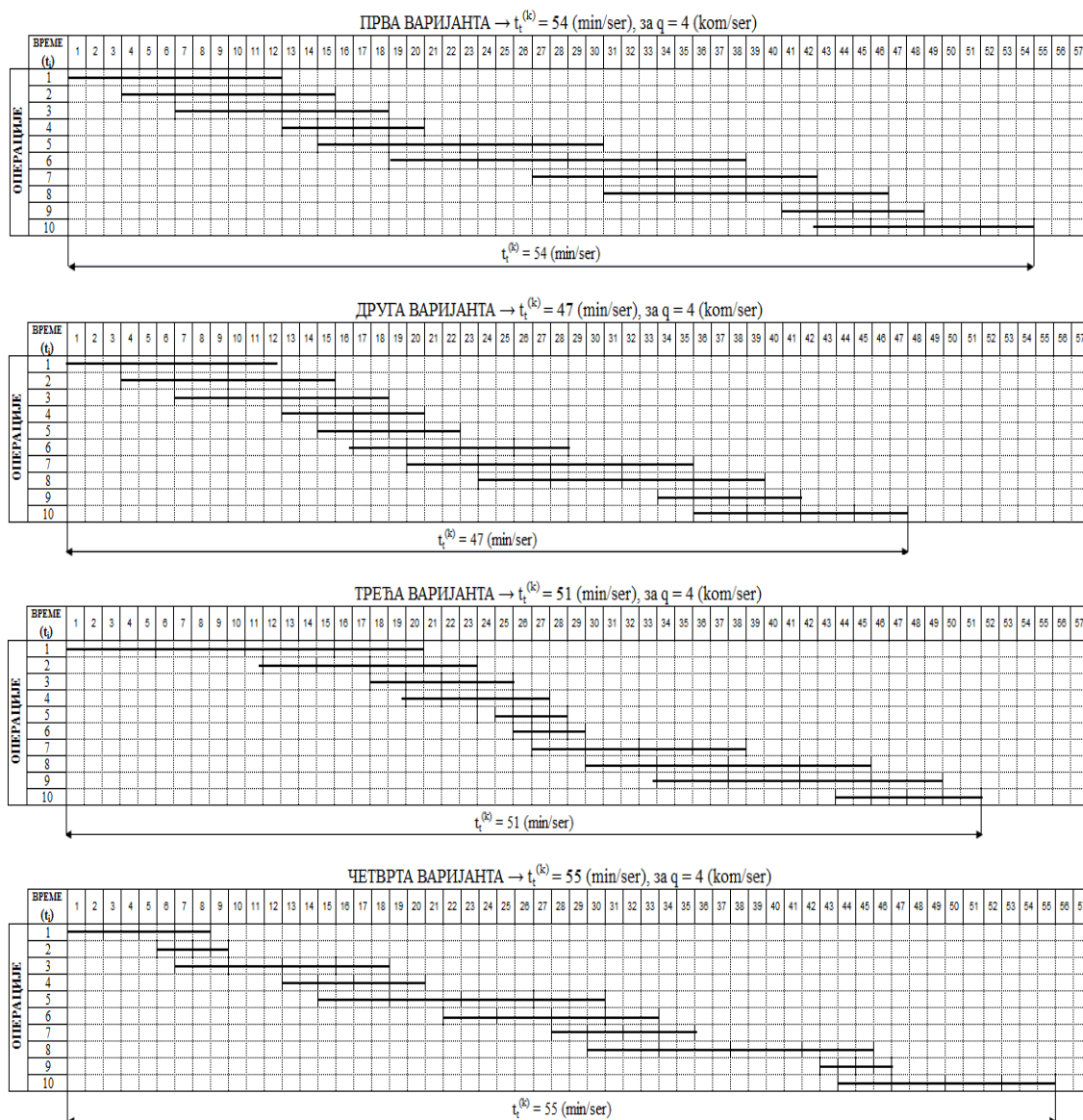
1. Вредности технолошког циклуса које су добијене помоћу гантових дијаграма, по комбинованом начину кретања предмета рада  $t_i^{(k)}$  (слика 42), идентичне су са резултатима који су добијени помоћу формула (12), (18-II), (139) и (146). Формуле (12) и (139) засноване су на поређењу времена три суседне  $(\alpha - 1, \alpha, \alpha + 1)$  операције а (18-II) и (146) на поређењу времена две суседне  $(\alpha - 1, \alpha)$  технолошке операције. У формули (18) није једнозначно дефинисана вредност  $t_{j-1}$  за  $j = 1$  односно, израз:  $t_0 = ? \Rightarrow (t_1 - t_0) \cdot I_1 = ?$ . Примена је условљена за вредности  $t_0 = t_1$  (18-I) и  $t_0 = 0$  (18-II), табела 9, колоне 10 и 11.
2. Остале формуле не дају задовољавајуће резултате. Формуле (9), (10) и (11) дају вредности  $t_i^{(k)}$  које су мање у односу на вредности  $t_i^{(p)}$  за поједине варијанте израде, што је у пракси немогуће.

Табела 8: Приказ параметара потребних за прорачун технолошког циклуса  $t_t$  у зависности од варијанте израде  $V_j$  и формула

Технолошки поступци $\theta_n, n = 10$		$\sum_{i=1}^n t_i$	$\sum_{i=1}^{n-1} t_{ki}$	$t_1$	$t_{i \max}$	$t_{i \min}$	$\sum_{j=1}^s (t_{vj} - t_{mj})$	$\sum_j t'_{oj}$	$\sum_j t''_{oj}$	$\sum_k t_k$	$\sum_j t_j$	$\sum_{i=1}^n (t_i - t_{i-1}) \cdot I_i$		$\sum_{i=2}^n (t_i - t_{i-1}) \cdot F_i$
$V_j$	$t_i, i = \overline{1,10} \text{ min/kom}$											I $t_0 = t_1$	II $t_0 = 0$	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
$V_1$	$t_1 = 3, t_2 = 3, t_3 = 3, t_4 = 2, t_5 = 4, t_6 = 5, t_7 = 4, t_8 = 4, t_9 = 2, t_{10} = 3$	33	16	3	5	2	4	5	4	11	4	4	7	4
$V_2$	$t_1 = 3, t_2 = 3, t_3 = 3, t_4 = 2, t_5 = 2, t_6 = 3, t_7 = 4, t_8 = 4, t_9 = 2, t_{10} = 3$	29	11	3	4	2	3	0	2	10	4	3	6	3
$V_3$	$t_1 = 5, t_2 = 3, t_3 = 2, t_4 = 2, t_5 = 1, t_6 = 1, t_7 = 3, t_8 = 4, t_9 = 4, t_{10} = 2$	27	12	5	5	1	3	0	0	9	1	3	8	3
$V_4$	$t_1 = 2, t_2 = 1, t_3 = 3, t_4 = 2, t_5 = 4, t_6 = 3, t_7 = 2, t_8 = 4, t_9 = 1, t_{10} = 3$	25	15	2	4	1	8	11	6	16	6	8	10	8

Табела 9: Вредности технолошких циклуса  $t_t = \{t_t^{(u)}, t_t^{(p)}, t_t^{(k)}\}$  у зависности од начина кретања предмета рада за  $q = 4$  и  $p = 1 \text{ kom}$

Варијанта	$t_t^{(u)}$	$t_t^{(p)}$	Ознаке формула за прорачун технолошког циклуса $t_t^{(k)}$ са вредностима циклуса у $\text{min/ser}$										
			(3), (7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(18) - I	(18) - II	(139)	(146)	Гантограм
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
$V_1$	132	48	84	60	60	36	57	54	45	54	54	54	54
$V_2$	116	41	83	50	35	23	47	47	38	47	47	47	47
$V_3$	108	42	72	51	27	27	54	51	36	51	51	51	51
$V_4$	100	37	55	61	76	40	16	55	49	55	55	55	55



Слика 42: Гантови дијаграми са вредностима циклуса  $t_t^{(k)}$  по варијантама  $V_j$

### 3.5.1.2 Односи између технолошких циклуса

У зависности од трајања технолошких операција ( $t_i$ ), величине производне партије ( $p$ ) и начина кретања предмета рада ( $KPR$ ) постоје три дилеме које су везане за технолошки циклус операције и производне фазе:

1. Односи између технолошких циклуса  $PF$ -е по узастопном ( $U$ ), комбинованом ( $K$ ) и паралелном ( $P$ ) начину дефинисани су помоћу релације (13) која има упориште у већини литературних извора [14, 15, 18, 19, 110, 128, 180, 211]. То значи да је трајање  $TC$ -а по паралелном начину  $KPR$  најкраће, по узастопном најдуже а по комбинованом узима вредности између ових екстрема. Међутим,

трајање  $TC$ -а по паралелном и комбинованом начину могуће је да буде идентично у одређеним ситуацијама, релација (14) [40, 43]. Прва дилема управо се односи на ову констатацију.

2. Утицај производно-транспортне партије на трајање  $TC$ -а  $PF$ -е представља другу непознаницу која до сада није истраживана.
3. Узрочно-последична веза између производно-транспортне партије ( $p$ ) и унутароперацијских застоја  $\tau_{uo_j}$ , по паралелном начину  $KPR$ , представља трећу непознаницу коју треба разрешити у даљим истраживањима.

Уколико се изједначе формуле за прорачун  $TC$ -а  $PF$ -е по комбинованом и паралелном начину  $KPR$  добиће се услови који омогућавају идентично трајање циклуса, под претпоставком да је величина партије у обе формуле иста. Услови (148) - (152) односе се на трајање  $t_i, i = \overline{1, n}$  операција у технолошком поступку.

$$(131) \wedge (139) \wedge t_i^{(p)} \equiv t_i^{(k)} \Rightarrow \sum_{i=1}^n t_i + (q-1) \cdot t_{\max} = \sum_{i=1}^n t_i + (q-1) \cdot \left( \sum_k t_k - \sum_j t_j \right) \vee$$

$$(131) \wedge (146) \Rightarrow \sum_{i=1}^n t_i + (q-1) \cdot t_{\max} = \sum_{\alpha=1}^n t_{\alpha} + (q-1) \cdot \left( t_1 + \sum_{\alpha=2}^n (t_{\alpha} - t_{\alpha-1}) \cdot F_{\alpha} \right) \Rightarrow$$

$$t_{\max} = \left( \sum_k t_k - \sum_j t_j \right) = \left( t_1 + \sum_{\alpha=2}^n (t_{\alpha} - t_{\alpha-1}) \cdot F_{\alpha} \right) \forall k, j, \alpha \in (i, i = \overline{1, n}) \quad (148)$$

$$(148) \wedge j = \{ \} \Rightarrow \sum_j t_j = 0 \Rightarrow t_{\max} = \sum_k t_k,$$

$$k = \{ \{k = 1 | t_1 \geq t_2\}, \{k = \overline{2, n-1} | t_{k-1} < t_k \geq t_{k+1}\}, \{k = n | t_n > t_{n-1}\} \} \Rightarrow$$

$$i = k = 1 \wedge t_1 = t_{\max} \Rightarrow \{ \{t_i\} : t_i \geq t_{i+1} \vee \{t_i\} : t_i > t_{i+1} \vee \{t_i\} : t_i = t_{i+1} = c \} | i = \overline{1, n-1} \quad (149)$$

$$i = k = n \wedge t_n = t_{\max} \Rightarrow \{t_i\} : t_{i-1} < t_i | i = \overline{2, n} \quad (150)$$

$$\exists i \in (\overline{1, n}) \Rightarrow i = k | t_{k-1} < t_k = t_{k+1} \Rightarrow \{t_i\} : t_{i-1} \leq t_i | i = \overline{2, n} \quad (151)$$

$$(149) \wedge (151) \Rightarrow \exists i \in (\overline{1, n}) \wedge i = k | t_{k-1} < t_k \geq t_{k+1} \Rightarrow \{t_i\} : t_{i-1} \leq t_i | i = \overline{2, j} \cup t_i \geq t_{i+1} | i = \overline{j, n-1} \quad (152)$$

Однос између  $TC$ -а  $PF$ -е по узастопном и паралелном начину  $KPR$  условљен је релацијом (153), по узастопном и комбинованом (154) и сумарни, релацијом (155).

$$t_i^{(u)} > t_i^{(p)} \Rightarrow q \cdot \sum_{i=1}^n t_i > \sum_{i=1}^n t_i + (q-1) \cdot t_{\max} = \sum_{i=1}^n t_i + q \cdot t_{\max} - t_{\max} \Rightarrow$$

$$q \cdot \left( \sum_{i=1}^n t_i - t_{\max} \right) > \sum_{i=1}^n t_i - t_{\max} \Rightarrow q > 1 \Rightarrow$$

$$t_i^{(u)} > t_i^{(p)} | q > 1 \wedge t_i^{(u)} = t_i^{(p)} | q = 1 \tag{153}$$

$$t_i^{(u)} > t_i^{(k)} \Rightarrow q \cdot \sum_{i=1}^n t_i > \sum_{i=1}^n t_i + (q-1) \cdot \left( \sum_k t_k - \sum_j t_j \right) = \sum_{i=1}^n t_i + q \cdot \left( \sum_k t_k - \sum_j t_j \right) - \left( \sum_k t_k - \sum_j t_j \right) \Rightarrow$$

$$q \cdot \left( \sum_{i=1}^n t_i - \left( \sum_k t_k - \sum_j t_j \right) \right) > \sum_{i=1}^n t_i - \left( \sum_k t_k - \sum_j t_j \right) \Rightarrow q > 1 \Rightarrow$$

$$t_i^{(u)} > t_i^{(k)} | q > 1 \wedge t_i^{(u)} = t_i^{(k)} | q = 1 \tag{154}$$

$$(148) - (154) \Rightarrow t_i^{(p)} = t_i^{(k)} = t_i^{(u)} | q = 1 \wedge t_i^{(p)} \leq t_i^{(k)} < t_i^{(u)} | q > 1 \forall i = \overline{1, n} \tag{155}$$

Табела 10: Провера једнакости  $TC$ -а  $t_i^{(p)}$  и  $t_i^{(k)}$  сагласно релацијама (149) - (152)

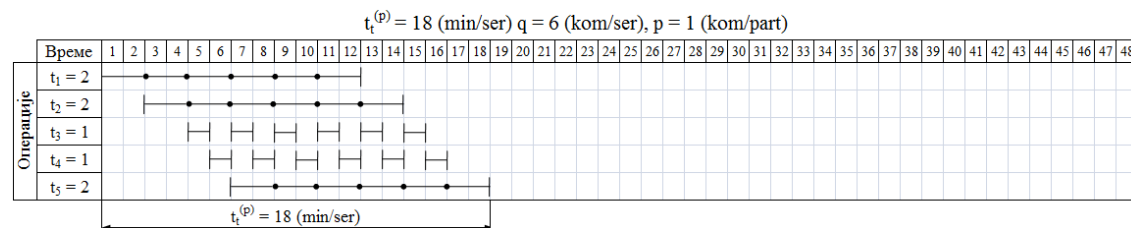
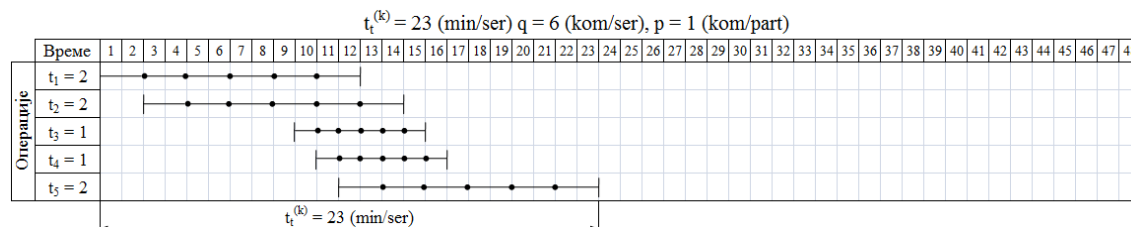
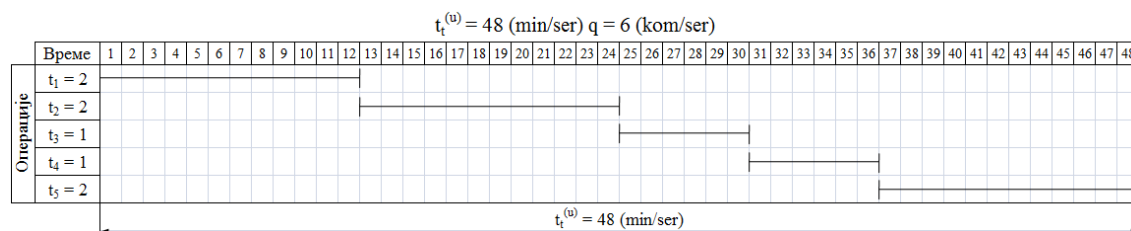
Р. б.	Релација - услов	$\theta_6 = (t_i, i = \overline{1,6})$ $q = 9, p = 3$	Трајање и односи између $TC$ -а				
			$t_i^{(p)}$	$t_i^{(k)}$	$t_i^{(u)}$	$t_t$	$\tau_{uo}^{(pf)}$
1	2	3	4	5	6	7	8
1	$(149) \Rightarrow \{t_i\}: t_i \geq t_{i+1}, i = \overline{1,5}$	(6, 6, 5, 4, 4, 2)	117	117	243	$t_i^{(p)} \leq t_i^{(k)} < t_i^{(u)}$	$\tau_{uo}^{(pf)} = 46$
2	$(149) \Rightarrow \{t_i\}: t_i > t_{i+1}, i = \overline{1,5}$	(6, 5, 4, 3, 2, 1)	99	99	189		$\tau_{uo}^{(pf)} = 91$
3	$(149) \Rightarrow \{t_i\}: t_i = t_{i+1}, i = \overline{1,5}$	(4, 4, 4, 4, 4, 4)	96	96	216		$\tau_{uo}^{(pf)} = 0$
4	$(150) \Rightarrow \{t_i\}: t_{i-1} < t_i, i = \overline{2,6}$	(2, 3, 4, 6, 7, 9)	147	147	279		$\tau_{uo}^{(pf)} = 0$
5	$(151) \Rightarrow \{t_i\}: t_{i-1} \leq t_i, i = \overline{2,6}$	(2, 2, 3, 4, 5, 5)	93	93	189		$\tau_{uo}^{(pf)} = 0$
6	$(152) \Rightarrow \{t_i\}: t_{i-1} \leq t_i   i = \overline{2,4} \cup t_i \geq t_{i+1}   i = \overline{4,5}$	(2, 3, 3, 5, 4, 1)	84	84	162		$\tau_{uo}^{(pf)} = 36$

На основу података из табеле 10 може се потврдити тачност хипотезе о једнакости технолошких циклуса по паралелном и комбинованом начину  $KPR$  уколико су испоштовани услови дефинисани релацијама (149) - (152). Међутим, идентично трајање  $TC$ -а нема за последицу идентичне вредности укупних технолошких застоја на нивоу  $PF$ -е, колона 8. Ово сазнање је од капиталног значаја и треба га у потпуности респектовати приликом технолошке разраде процеса производње а затим и при пројектовању производних циклуса  $PF$ -а.

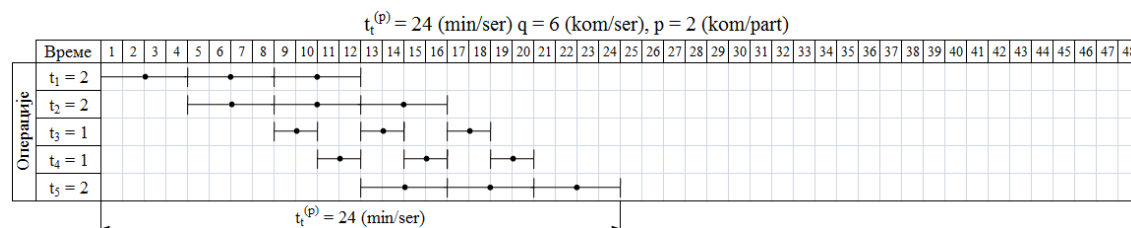
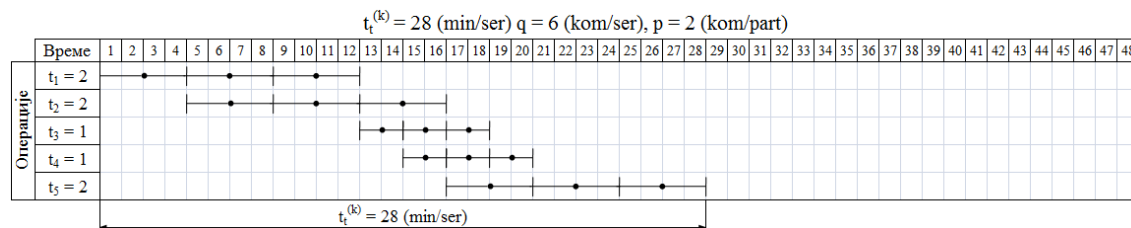
*Друга* непознаница која се односи на трајање  $TC$ -а, у зависности од начина  $KPR$  и величине производно-транспортне партије ( $p$ ), истражиће се на примеру  $PF$ -е која садржи  $n = 5$  операција, табела 11, слике 43 и 44. У табели су приказани резултати  $TC$ -а за константну вредност производне серије ( $q = 6$  комада) која се реализује са различитим бројем комада у производној партији ( $p = \overline{1,6}$ ).

Табела 11: Вредности  $TC$ -а у зависности од начина  $KPR$  и величине партије  $p$

$TC$ $min/ser$	Производна серија $q = 6$ , Производна партија $p = \overline{1,6}$						$t_i, i = \overline{1,5}$ $min/kom$
	$p = 1$	$p = 2$	$p = 3$	$p = 4$	$p = 5$	$p = 6$	
$t_t^{(u)}$	48	48	48	48	48	48	$t_1=2$
$t_t^{(k)}$	23	28	33	38	43	48	$t_2=2$
$t_t^{(p)}$	18	24	30	36	42	48	$t_3=1$
							$t_4=1$
							$t_5=2$



Слика 43: Гантови дијаграми са вредностима  $TC$ -а:  $t_t = \{t_t^{(u)}, t_t^{(p)}, t_t^{(k)}\}, q = 6 \wedge p = 1$



Слика 44: Гантови дијаграми са вредностима  $TC$ -а:  $t_t = \{t_t^{(k)}, t_t^{(p)}\}, q = 6 \wedge p = 2$

Под условом да је производна серија  $q$  константна, са повећањем производне партије повећава се трајање  $TC$ -а по комбинованом  $t_i^{(k)}$  и паралелном  $t_i^{(p)}$  начину  $KPR$ . Код узастопног начина  $KPR$  производна партија не утиче на трајање циклуса  $t_i^{(u)}$  због тога што се производна серија  $q$  третира као једна партија. Минималне вредности  $TC$ -а по комбинованом  $t_i^{(k)}$  и паралелном  $t_i^{(p)}$  начину  $KPR$  добиће се за вредности производне партије  $p = 1$  (табела 11, колона 2) а максималне вредности за  $p = q$  (табела 11, колона 7), релација (156).

$$p=1 \Rightarrow \min t_i^{(p)} \equiv \min t_i^{(k)}, p=q \Rightarrow \max t_i^{(p)} \equiv \max t_i^{(k)} = t_i^{(u)} \Rightarrow 1 \leq p \leq q \quad (156)$$

**Трећа** непознаница односи се на истраживање узрочно-последичних веза између производно-транспортне партије ( $p$ ) и унутароперацијских технолошких застоја  $\tau_{uo_i}$ , по паралелном начину  $KPR$ , табела 12. Анализиран је технолошки процес  $PF$ -е који се састоји од  $n = 10$  операција са припадајућим временима која су приказана у колони 2. Процес производње је симулиран за константну вредност производне серије од  $q = 12$  комада и производним партијама ( $p$ ) које узимају вредности од 1 до 12 комада ( $p = \overline{1, q} \wedge q = \overline{1, 12}$ ). Вредности  $TC$ -а операција ( $i$ )  $t_i^{(o,p)}$  и унутароперацијских застоја  $\tau_{uo_i}$  израчунате су помоћу формула (125) и (126) у зависности од величине производне партије ( $p$ ). Унутароперацијски застоји једнаки су нула код **1.** и **6.** операције, сагласно релацији (127). Укупни технолошки унутароперацијски застоји на нивоу  $PF$ -е  $\tau_{uo}^{(pf)}$  добиће се сабирањем технолошких застоја на свим операцијама (157). Збир технолошких циклуса свих операција  $PF$ -е  $t_{t_{pf}}^{(o)}$  добиће се помоћу релација (157) и (158) у зависности од начина  $KPR$ . Помоћу формула (159) добијају се одговарајући проценти.

$$\tau_{uo}^{(pf)} = \sum_{i=1}^n \tau_{uo_i}, \quad t_{t_{pf}}^{(o)} = \left\{ t_{t_{pf}}^{(o,p)}, t_{t_{pf}}^{(o,k)}, t_{t_{pf}}^{(o,u)} \right\}, \quad t_{t_{pf}}^{(o,k)} = t_{t_{pf}}^{(o,u)} = \sum_{i=1}^n t_i^{(o,k)} = \sum_{i=1}^n t_i^{(o,u)} = t_i^{(u)} \quad (157)$$

$$t_{t_{pf}}^{(o,p)} = \sum_{i=1}^n t_i^{(o,p)} = \sum_{i=1}^n (q \cdot t_i + \tau_{uo_i}) = t_i^{(u)} + \tau_{uo}^{(pf)} \Rightarrow t_i^{(u)} = t_{t_{pf}}^{(o,p)} - \tau_{uo}^{(pf)} \quad (158)$$

$$P_{\tau_{uo}}^{(p)} = \frac{\tau_{uo}^{(pf)}}{t_i^{(p)}} \cdot 100, \quad P_{\tau_{uo}}^{(o,p)} = \frac{\tau_{uo}^{(pf)}}{t_{t_{pf}}^{(o,p)}} \cdot 100, \quad P_{\tau_{uo}}^{(u)} = \frac{\tau_{uo}^{(pf)}}{t_i^{(u)}} \cdot 100 \quad (159)$$

Табела 12: Вредности технолошких циклуса операција,  $PF$ -е и унутароперацијских технолошких застоја за  $q = 12$  кот и  $p = \overline{1,12}$

$i$	$t_i$ <i>min/kom</i>	$p = 1$		$p = 2$		$p = 3$		$p = 4$		$p = 5$		$p = 6$		$p = 7$		$p = 8$		$p = 9$		$p = 10$		$p = 11$		$p = 12$	
		$t_i^{(o,p)}$	$\tau_{uo_i}$	$t_i^{(o,p)}$	$\tau_{uo_i}$	$t_i^{(o,p)}$	$\tau_{uo_i}$	$t_i^{(o,p)}$	$\tau_{uo_i}$	$t_i^{(o,p)}$	$\tau_{uo_i}$	$t_i^{(o,p)}$	$\tau_{uo_i}$	$t_i^{(o,p)}$	$\tau_{uo_i}$	$t_i^{(o,p)}$	$\tau_{uo_i}$	$t_i^{(o,p)}$	$\tau_{uo_i}$	$t_i^{(o,p)}$	$\tau_{uo_i}$	$t_i^{(o,p)}$	$\tau_{uo_i}$	$t_i^{(o,p)}$	$\tau_{uo_i}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
<b>1</b>	<b>4</b>	48	<b>0</b>	48	<b>0</b>	48	<b>0</b>	48	<b>0</b>	48	<b>0</b>	48	<b>0</b>	48	<b>0</b>	48	<b>0</b>	48	<b>0</b>	48	<b>0</b>	48	<b>0</b>	48	<b>0</b>
2	2	46	22	44	20	42	18	40	16	38	14	36	12	34	10	32	8	30	6	28	4	26	2	24	0
3	2	46	22	44	20	42	18	40	16	38	14	36	12	34	10	32	8	30	6	28	4	26	2	24	0
4	3	47	11	46	10	45	9	44	8	43	7	42	6	41	5	40	4	39	3	38	2	37	1	36	0
5	2	46	22	44	20	42	18	40	16	38	14	36	12	34	10	32	8	30	6	28	4	26	2	24	0
<b>6</b>	<b>5</b>	60	<b>0</b>	60	<b>0</b>	60	<b>0</b>	60	<b>0</b>	60	<b>0</b>	60	<b>0</b>	60	<b>0</b>	60	<b>0</b>	60	<b>0</b>	60	<b>0</b>	60	<b>0</b>	60	<b>0</b>
7	1	56	44	52	40	48	36	44	32	40	28	36	24	32	20	28	16	24	12	20	8	16	4	12	0
8	4	59	11	58	10	57	9	56	8	55	7	54	6	53	5	52	4	51	3	50	2	49	1	48	0
9	3	58	22	56	20	54	18	52	16	50	14	48	12	46	10	44	8	42	6	40	4	38	2	36	0
10	4	59	11	58	10	57	9	56	8	55	7	54	6	53	5	52	4	51	3	50	2	49	1	48	0
$\Sigma$	30	525	165	510	150	495	135	480	120	465	105	450	90	435	75	420	60	405	45	390	30	375	15	360	0
$t_i^{(p)}$ <i>min/ser</i>		85		110		135		160		185		210		235		260		285		310		335		360	
$P_{\tau_{uo}}^{(p)}$ %		194,1		136,4		100,0		75,0		56,8		42,9		31,9		23,1		15,8		9,7		4,5		0	
$t_i^{(k)}$ <i>min/ser</i>		162		180		198		216		234		252		270		288		306		324		342		360	
$t_i^{(u)}$ <i>min/ser</i>		360		360		360		360		360		360		360		360		360		360		360		360	
$P_{\tau_{uo}}^{(o,p)}$ %		31,4		29,4		27,3		25,0		22,6		20,0		17,2		14,3		11,1		7,7		4,0		0,0	
$P_{\tau_{uo}}^{(u)}$ %		45,8		41,7		37,5		33,3		29,2		25,0		20,8		16,7		12,5		8,3		4,2		0,0	
$P_{\tau_{uo}}^{(p)}$ - процентуални износ укупних технолошких међуоперацијских застоја $\tau_{uo}^{(pf)}$ у односу на трајање $TC$ -а $PF$ -е по $P$ начину $KPR$ $t_i^{(p)}$ $P_{\tau_{uo}}^{(o,p)}$ - процентуални износ укупних технолошких међуоперацијских застоја $\tau_{uo}^{(pf)}$ у односу на збир $TC$ -а операција по $P$ начину $KPR$ $t_{t_{pf}}^{(o,p)}$ $P_{\tau_{uo}}^{(u)}$ - процентуални износ укупних технолошких међуоперацијских застоја $\tau_{uo}^{(pf)}$ у односу на трајање $TC$ -а $PF$ -е по $U$ начину $KPR$ $t_i^{(u)}$																									



На пример, ако се процес производње одвија по партијама од 3 комада добијени су следећи резултати (табела 12, колоне 7 и 8), релација (160):

$$\begin{aligned}
 p = 3 &\Rightarrow N_p = 4 \Rightarrow \\
 t_i^{(o,p)} &= (48,42,42,45,42,60,48,57,54,57) \forall i = \overline{1,10} \wedge t_{t_{pf}}^{(o,p)} = \sum_{i=1}^{10} t_i^{(o,p)} = 495, \\
 \tau_{uo_i} &= (0,18,18,9,18,0,36,9,18,9) \forall i = \overline{1,10} \wedge \tau_{uo}^{(pf)} = \sum_{i=1}^{10} \tau_{uo_i} = 135, \\
 t_i^{(p)} &= 135 \wedge t_i^{(k)} = 198 \wedge t_i^{(u)} = 360, \quad P_{\tau_{uo}}^{(o,p)} = \frac{\tau_{uo}^{(pf)}}{t_{t_{pf}}^{(o,p)}} \cdot 100 = \frac{135}{495} \cdot 100 = 27,3 \% \\
 P_{\tau_{uo}}^{(p)} &= \frac{\tau_{uo}^{(pf)}}{t_i^{(p)}} \cdot 100 = \frac{135}{135} \cdot 100 = 100 \%, \quad P_{\tau_{uo}}^{(u)} = \frac{\tau_{uo}^{(pf)}}{t_i^{(u)}} \cdot 100 = \frac{135}{360} \cdot 100 = 37,5 \% \quad (160)
 \end{aligned}$$

На основу резултата приказаних у табели 12 може се закључити да је трајање  $TC$ -а и унутароперацијских застоја, на нивоу технолошке операције и  $PF$ -е, обрнуто пропорционално величини производне партије. Што је производна партија мања ове вредности су веће, и обратно.

Анализирајући утицај времена технолошких операција, величине производне партије и начина кретања предмета рада у процесу производње на трајање и односе у  $TC$ -у, могу се извести следећи закључци:

1. У фази разраде технолошког процеса  $PF$ -е треба тежити да укупан број операција ( $n$ ) буде што мањи а трајање технолошких операција идентично или приближно исто, тако да свака операција буде дужа или иста у односу на претходну, релација (161). На овај начин су елиминисани технолошки унутароперацијски застоји  $\tau_{uo_i}$ , који се јављају услед неуједначеног трајања операција, при чему је трајање  $TC$ -а  $PF$ -е по паралелном и комбинованом начину  $KPR$  идентично.

$$\begin{aligned}
 PF - a : (n \rightarrow \min \wedge t_i = c \mid i = \overline{1, n}) \vee (n, t_{i-1} \leq t_i \mid i = \overline{2, n} \wedge t_i - t_{i-1} \rightarrow 0) &\Rightarrow \\
 \Rightarrow \tau_{uo_i} = 0 \wedge t_i^{(p)} \equiv t_i^{(k)} &\quad (161)
 \end{aligned}$$

2. Уколико технолошким поступком није реализован услов (161) тада нивелисање технолошких операција треба обезбедити организационим факторима приликом пројектовања циклуса (број радних места, смена).

3. Најмањи  $TC PF$ -е добија се за вредност партије  $p = 1$ , што је у пракси прихватљиво када се процес производње реализује у великим серијама и масовној производњи. Ако је заступљена малосеријска и средњесеријска производња величину производне партије, као што је већ истакнуто, треба оптимизирати. На оптималне вредности ( $p_o$ ) доминантно утиче величина производне серије ( $q_o$ ), обим недовршене производње  $q_i^{(rn)}$  и сигурносне залихе које обезбеђују континуитет у производњи (162).

$$p = 1 \Rightarrow \min t_i^{(p)}, (q \rightarrow q_o \wedge q_i^{(rn)} \rightarrow \text{opt } q_i^{(rn)}) \Rightarrow p \rightarrow p_o \Rightarrow \text{opt } t_i^{(p)} \quad (162)$$

4. Резултати који су приказани у табелама (8) - (12) добијени су помоћу програма који су креирани у оквиру софтверског алата *Mathematica* [201]. Програм за прорачун технолошких циклуса операција и производних фаза *PPTCOPF3* (прилог 2) заснован је на поређењу времена три суседне операције, а програм *PPTCOPF2* (прилог 3) на поређењу времена две суседне операције, када је у питању прорачун  $TC PF$ -е по комбинованом начину *KPR*. Оба програма дају идентичне резултате (алтернативни су), једноставни су за коришћење и дају све резултате који се односе на технолошке циклусе операција и производних фаза.

### 3.5.1.3 Утицај осталих фактора на трајање технолошког циклуса

У тежњи да истакне значај пројектовања технолошких процеса у циљу постизања најјекономичније производње, Мајнард је увео појам "обликовање рада" [43]. У прилог томе недвосмислено указују и закључци који су везани за трајање и односе у  $TC$ -у операције и производне фазе. Временска димензија технолошке операције није важна само у апсолутном већ и у релативном смислу, када се пореде времена суседних операција у циљу изналажења оптималног начина производње.

Уколико је трајање технолошких операција уједначено тада су избегнути технолошки унутароперацијски застоји који су последица различитог трајања. Процес производње је лако организовати обзиром да нема уских грла при чему је и мања вероватноћа да се појаве и други застоји, као последица организационих и осталих утицаја, претежно стохастичког карактера.

У нашој индустријској пракси, до данашњих дана, није се довољно посвећивала пажња утврђивању потребног времена за извршење, најчешће специјализованих послова у оквиру технолошке операције, узимајући у обзир услове и залагање извршилаца. Норма као мерило, за оно што се може постићи у одређеним условима, задире у проблематику проучавања и мерења рада.

Временска норма технолошке операције је један од кључних показатеља и мерила рада. Она, пре свега, треба да буде организационо средство а не примарни критеријум и мерило за зараде. Нажалост, мора се констатовати да се норма у нашим условима најчешће користи као средство за обрачун зарада стимулишући у том случају некавалитетну производњу, нерационално трошење алата, машина и материјала. Да би се избегла постојећа пракса извршиоце не треба стимулисати са пребачајем норме, већ на достизање реално постављене норме придржавајући се постављених стандарда и режима рада, јер је то у обостраном интересу појединаца и свих запослених у предузећу.

На  $ТС$  операције и  $PF$ -е утиче структура временске норме и јединице у којима се изражава њихово трајање. Појам временске норме  $t_{oi}$  везује се за јединицу производа и укупно време потребно за извршење технолошке операције. Укупно време обухвата три компоненте: време по комаду  $t_i$ , припремно-завршно време  $t_{pz}$  и време природних процеса  $t_{pp}$ . Време по комаду  $t_i$  састоји се од времена израде  $t_{iz}$  и допунског времена  $t_d$ , релација (163).

$$t_{oi} = t_i + t_{pz} + t_{pp}, \quad t_i = t_{iz} + t_d, \quad t_{pz} = \frac{T_{pz}}{q}, \quad t_{pp} = \frac{T_{pp}}{q} \Rightarrow$$

$$t_{oi} = t_i + \frac{T_{pz}}{q} + \frac{T_{pp}}{q} \quad \forall i = \overline{1, n} \wedge q \geq 1 \quad (163)$$

Временска норма технолошке операције  $t_{oi}$  може се изразити у различитим јединицама (164), као и трајање  $ТС$ -а (165):

$$t_{oi} : 1 \frac{n\check{c}}{kom} = 60 \frac{min}{kom} = 3600 \frac{sec}{kom} = 100 \frac{ch}{kom} = 10000 \frac{dmh}{kom} = 100000 \frac{cmh}{kom} \quad (164)$$

$$\left( t_{t_i}^{(o)} \wedge t_t \right) : \frac{n\check{c}}{ser} \vee \frac{sm}{ser} \vee \frac{rd}{ser} \vee \frac{kd}{ser} \quad (165)$$

У зависности од јединица у којима се изражава трајање  $t_{oi}$  технолошких операција и јединица у којима се жели исказати трајање  $TC$ -а, постоји тачно дефинисан математички однос  $H$ , релација (166):

$$\begin{aligned} t_{oi} : \frac{n\check{c}}{kom} \wedge (t_{t_i}^{(o)} \vee t_t) : \frac{n\check{c}}{ser} \forall i = \overline{1, n} \wedge q \geq 1 &\Rightarrow H = 1, \\ t_{oi} : \frac{n\check{c}}{kom} \wedge (t_{t_i}^{(o)} \vee t_t) : \frac{sm}{ser} \forall i = \overline{1, n} \wedge q \geq 1 &\Rightarrow H = C_s, \\ t_{oi} : \frac{n\check{c}}{kom} \wedge (t_{t_i}^{(o)} \vee t_t) : \frac{rd}{ser} \forall i = \overline{1, n} \wedge q \geq 1 &\Rightarrow H = C_s \cdot S_d, \\ t_{oi} : \frac{n\check{c}}{kom} \wedge (t_{t_i}^{(o)} \vee t_t) : \frac{kd}{ser} \forall i = \overline{1, n} \wedge q \geq 1 &\Rightarrow H = C_s \cdot S_d \cdot \frac{1}{\delta} \wedge \delta = \frac{D_k}{D_r} \end{aligned} \quad (166)$$

Где је:  $H$  - параметар,  $C_s$  - ефективни часови рада у смени  $e\check{c}/sm$ ,  $S_d$  - број радних смена у дану  $sm/rd$ ,  $D_k$  - укупан број календарских дана  $kd$ ,  $D_r$  - укупан број радних дана  $rd$ ,  $\delta$  - параметар,  $t_{oi}$  - трајање технолошке операције,  $t_{t_i}^{(o)}$  - трајање технолошког циклуса операције,  $t_t$  - трајање технолошког циклуса  $PF$ -е.

На основу наведених разматрања може се дефинисати универзално применљив концепт за прорачун технолошких циклуса операција  $t_{t_i}^{(o)}$  ( $I$  - ниво), релације (167) - (169), и производних фаза  $t_t$  ( $II$  - ниво), релације (170) - (177).

$$I - Nivo : (123) \wedge (125) \wedge (126) \wedge (127) \wedge (161) \wedge (163) \wedge (166) \Rightarrow t_{t_i}^{(o)} = f(KPR)$$

↓

$$\forall i = \overline{1, n} \wedge q \geq 1 \wedge 1 \leq p \leq q \Rightarrow t_{t_i}^{(o)} = \frac{1}{H_i} \cdot (q \cdot t_i + \tau_{uq}) + \frac{T_{pz_i} + T_{pp_i}}{H_i} = \frac{1}{H_i} \cdot \left( q \cdot t_i + (q-p) \cdot \left( \max_j \{t_j, j = \overline{1, i}\} - t_i \right) \right) + \frac{T_{pz_i} + T_{pp_i}}{H_i} \quad (167)$$

$$(167) \wedge (q = 1 \vee p = q \vee (q > 1 \wedge 1 \leq p < q \wedge t_{i-1} \leq t_i | i = \overline{2, n})) \Rightarrow \left( \tau_{uoi} = 0 \wedge t_{t_i}^{(o)} \equiv t_{t_i}^{(o,u)} = t_{t_i}^{(o,k)} = t_{t_i}^{(o,p)} = \frac{q \cdot t_i}{H_i} + \frac{T_{pz_i} + T_{pp_i}}{H_i} \right) \forall i = \overline{1, n} \quad (168)$$

$$(167) \wedge (q > 1 \wedge p = 1) \Rightarrow \left( \tau_{uoi} \geq 0 | i = \overline{1, n} \wedge \tau_{uoi} = 0 | t_i = \max_j \{t_j, j = \overline{1, i}\} \right) \wedge t_{t_i}^{(o)} \equiv \max t_{t_i}^{(o,p)} = \frac{1}{H_i} \cdot \left( q \cdot t_i + (q-1) \cdot \left( \max_j \{t_j, j = \overline{1, i}\} - t_i \right) \right) + \frac{T_{pz_i} + T_{pp_i}}{H_i} \forall i = \overline{1, n} \quad (169)$$

$$II - Nivo : PF = (x_j | j = \overline{1, m}), A = \{n, \theta_n, q, p, KPR\}, \theta_n = (t_i | i = \overline{1, n}), KPR = \{U, K, P\},$$

$$(129) \wedge (132) \wedge (140) \wedge (147) \wedge (148) \wedge (155) \wedge (156) \wedge (163) \wedge (166) \Rightarrow t_t = \{t_t^{(p)}, t_t^{(k)}, t_t^{(u)}\}$$

↓

$$t_t = \frac{1}{H} \cdot \left( p \cdot \sum_{i=1}^n t_i + (q-p) \cdot y \right) + \frac{T_{pzj} + T_{ppj}}{H}, \quad q \geq 1 \wedge 1 \leq p \leq q \quad (170)$$

$$(170) \wedge (q = 1 \wedge p = q) \Rightarrow t_t \equiv t_t^{(p)} = t_t^{(k)} = t_t^{(u)} = \frac{1}{H} \cdot \sum_{i=1}^n t_i + \frac{T_{pzj} + T_{ppj}}{H} \quad (171)$$

$$(170) \wedge (q > 1 \wedge p = q) \Rightarrow t_t \equiv t_t^{(u)} = \frac{1}{H} \cdot q \cdot \sum_{i=1}^n t_i + \frac{T_{pzj} + T_{ppj}}{H} \quad (172)$$

$$(170) \wedge (q > 1 \wedge 1 \leq p < q \wedge y = \max\{t_i | i = \overline{1, n}\}) \Rightarrow$$

$$t_t = t_t^{(p)} = \frac{1}{H} \cdot \left( p \cdot \sum_{i=1}^n t_i + (q-p) \cdot \max\{t_i | i = \overline{1, n}\} \right) + \frac{T_{pzj} + T_{ppj}}{H} \quad (173)$$

$$(170) \wedge (q > 1 \wedge 1 \leq p < q) \wedge y = \left( \sum_k t_k - \sum_j t_j \right) \forall k, j \in (i = \overline{1, n}) \wedge$$

$$\wedge t_k \in (t_i | i = \overline{1, n}) \wedge k = \{ \{k=1 | t_1 \geq t_2\}, \{k=2, n-1 | t_{k-1} < t_k \geq t_{k+1}\}, \{k=n | t_n > t_{n-1}\} \} \wedge$$

$$\wedge t_j \in (t_i | i = \overline{2, n-1}) \wedge j = \{ \overline{2, n-1} | t_{j-1} \geq t_j < t_{j+1} \} \Rightarrow$$

$$t_t = t_t^{(k)} = \frac{1}{H} \cdot \left( p \cdot \sum_{i=1}^n t_i + (q-p) \cdot \left( \sum_k t_k - \sum_j t_j \right) \right) + \frac{T_{pzj} + T_{ppj}}{H} \quad (174)$$

$$(170) \wedge (q > 1 \wedge 1 \leq p < q) \wedge y = \left( t_1 + \sum_{\alpha=2}^n (t_\alpha - t_{\alpha-1}) \cdot F_\alpha \right) \forall \alpha \in (i, i = \overline{1, n}) \wedge$$

$$\wedge \forall \alpha | t_\alpha > t_{\alpha-1} \Rightarrow F_\alpha = 1 \wedge \forall \alpha | t_\alpha \leq t_{\alpha-1} \Rightarrow F_\alpha = 0 \Rightarrow$$

$$t_t = t_t^{(k)} = \frac{1}{H} \cdot \left( p \cdot \sum_{i=1}^n t_i + (q-p) \cdot \left( t_1 + \sum_{\alpha=2}^n (t_\alpha - t_{\alpha-1}) \cdot F_\alpha \right) \right) + \frac{T_{pzj} + T_{ppj}}{H} \quad (175)$$

$$(170) \wedge (q > 1 \wedge 1 \leq p < q) \wedge$$

$$\wedge (\theta_n = \{t_i \geq t_{i+1} | i = \overline{1, n-1}\} \vee \theta_n = \{t_{i-1} \leq t_i | i = \overline{2, n}\} \vee$$

$$\vee \theta_n = \{t_{i-1} \leq t_i | i = \overline{2, j}\} \cup \{t_i \geq t_{i+1} | i = \overline{j, n-1}\}) \Rightarrow t_t \equiv t_t^{(p)} = t_t^{(k)} \quad (176)$$

$$(170) \wedge (q > 1 \wedge 1 \leq p < q) \Rightarrow t_t : t_t^{(p)} \leq t_t^{(k)} < t_t^{(u)} \quad (177)$$

### 3.5.2 Технолошки циклус сложеног производа

Истраживањем производног и  $TC$ -а  $SP$ -а ( $III$  – ниво) бави се мали број аутора. У стручној литератури из области организације производње и производног менаџмента не постоје егзактни обрасци за прорачун. Имајући у виду да се модели за опис  $SP$ -а углавном заснивају на склопним цртежима, конструкционој саставници и графичком приказу тока процеса, већина аутора указује на недостатке у практичној примени у ситуацијама када се анализира  $SP$  са већим бројем делова или када је потребно извршити репланирање производње.

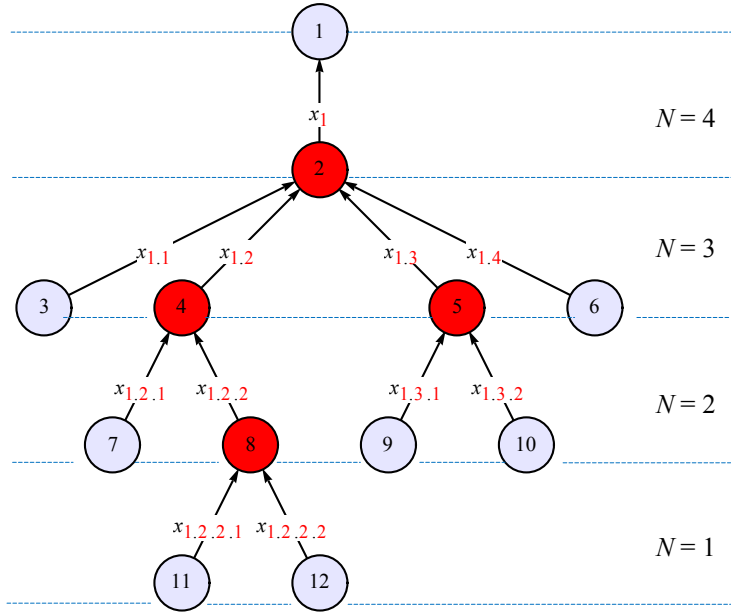
Управо из тих разлога, у тачки 3.2, разрађен је модел заснован на примени теорије графова и теорије скупова. То значи да се било који производ  $X_i$  може једнозначно дефинисати помоћу скупа производних фаза  $x_{i,j,k,\dots}$ , чији је положај у графу и припадност одређеном нивоу дефинисан помоћу њихових ознака, релације (62), (65) и (66), или визуелно помоћу графа технолошке структуре. Граф има изглед уређеног коренског стабла у коме гране графа представљају истовремено технолошке процесе и производне фазе. Гране су чворовима графа повезане тако да чине логичну вишенивовску хијерархијску структуру оријентисану од првог ка последњем нивоу, слике 9, 10 и 17.

Ако је структура  $SP$ -а описана помоћу релације (62) односно, помоћу графа технолошке структуре, слика 10, тада постоји један базни чвор  $V^{(b)} = \{1\}$  при чему су остали чворови графа груписани у подскупове спољашњих  $V^{(s)}$  и унутрашњих  $V^{(u)}$  чворова, релација (58). Карактеристични путеви у графу  $P_k$  добијају се повезивањем базног са спољашњим чворовима у подграфове који имају два и више нивоа, у зависности од растојања између чворова односно, од дужине пута  $d(1,u)$ , релације (33) и (34).

Код супротно оријентисаног графа (слика 45) од графа технолошке структуре (слика 10) позиције и ознаке чворова остају идентичне међутим, мењају се називи базног и спољашњих чворова. Супротно оријентисан граф приказује процес настајања  $SP$ -а па посматрано у том контексту скуп спољашњих чворова  $V^{(s)}$  се трансформише у скуп почетних  $V^{(p)}$  а базни чвор  $V^{(b)}$  у завршни  $V^{(z)}$  (178).

$$V^{(b)} \rightarrow V^{(z)} \wedge V^{(s)} \rightarrow V^{(p)} \Rightarrow V = V^{(p)} \cup V^{(u)} \cup V^{(z)} \quad (178)$$

У супротно оријентисаном графу унутрашњи чворови задржавају позицију и значење. Почетни чворови указују на почетак производње елементарних *PF*-а (*EPF*) а унутрашњи на почетак монтаже сложених *PF*-а (*SPF*). Завршни чвор детерминише завршетак процеса монтаже односно, монтаже и паковања финалног производа тј. завршетак производње *SP*-а (слика 45).



Слика 45: Супротно оријентисан граф од графа технолошке структуре са слике 10

За разлику од графа технолошке структуре, где се означавање нивоа у графу врши по принципу "одозго на доле" (слика 10), код супротно оријентисаног графа нивои  $N$  се означавају "одоздо на горе" (слика 45). Производне фазе имају исте ознаке у оба графа. Карактеристични путеви у супротно оријентисаном графу и број *PF*-а односно нивоа, из којих се састоје, дефинисаће се помоћу (179) и (180).

$$(33) \Rightarrow P_k = \{P_{v,1} | v \in V^{(p)}\}, \quad B_k = |V^{(p)}| \quad (179)$$

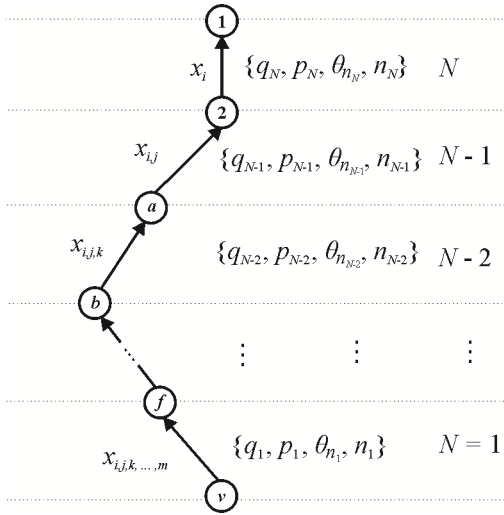
$$(34) \Rightarrow d_k = \{d(v,1) | v \in V^{(p)}\}, \quad d(v,1) = N_{v,1}, \quad N_{v,1} \in \overline{2, N}, \quad N = \max_i \{N_i, i=1, B_k\} = \max_{v \in V^{(p)}} \{N_{v,1}\} \quad (180)$$

Супротно оријентисан граф (слика 45), од графа технолошке структуре *SP*-а (слика 10), може се описати помоћу (181):

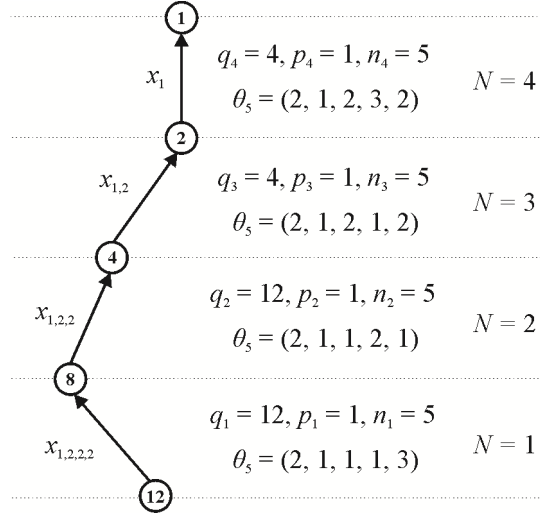
$$\begin{aligned} \text{слика 45} \Rightarrow V &= \{V^{(p)}, V^{(u)}, V^{(z)}\} = \{1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12\} = \\ V &= \{\{x_1\}, \{x_{1.1}, x_{1.2}, x_{1.3}, x_{1.4}\}, \{\{x_{1.2.1}, x_{1.2.2}\}, \{x_{1.3.1}, x_{1.3.2}\}\}, \{x_{1.2.2.1}, x_{1.2.2.2}\}\} \Rightarrow \\ V^{(p)} &= \{3,6,7,9,10,11,12\} \wedge V^{(u)} = \{2,4,5,8\} \wedge V^{(z)} = \{1\} \end{aligned}$$

$$B_{pf}^{(e)} = |V^{(p)}| = 7 \wedge B_{pf}^{(s)} = |V^{(u)}| = 4 \Rightarrow B_{pf} = B_{pf}^{(e)} + B_{pf}^{(s)} \equiv |V| - 1 = 11$$

$$\begin{aligned}
 d_k &= \{d(3,1), d(6,1), d(7,1), d(9,1), d(10,1), d(11,1), d(12,1)\} = \{2,2,3,3,3,4,4\} \Rightarrow N_{v,1} = \overline{2}, N \wedge N = 4 \\
 P_{3,1} &= \{x_{1,1}, x_1\} \wedge N_{3,1} = N_1 = 2, \quad P_{12,1} = \{x_{1,2,2,1}, x_{1,2,2}, x_{1,2}, x_1\} \wedge N_{12,1} = N_7 = N = 4 \\
 P_k &= \{P_{3,1}, P_{6,1}, P_{7,1}, P_{9,1}, P_{10,1}, P_{11,1}, P_{12,1}\}, \quad B_k = |V^{(P)}| = 7 \quad (181)
 \end{aligned}$$



Слика 46: Пут  $P_{v,1}$  са  $N_{v,1} = N$  нивоа



Слика 47: Пут  $P_{12,1}$  са  $N=4$  нивоа

Уколико се  $PF$ -ама  $SP$ -а доделе одговарајуће тежинске функције  $t_i$  које се односе на трајање  $TC$ -а могуће је израчунати тежину било ког подграфа и графа у целини. На трајање  $TC$ -а  $SP$ -а утиче више фактора: број  $PF$ -а  $B_{pf}$  и максималан број нивоа  $N$  у графу  $SP$ -а, укупан број  $B_k$  карактеристичних путева  $P_k$  и број нивоа  $N_{v,1}$  у оквиру њих,  $KPR$  и трајање  $TC$ -а  $PF$ -а  $t_i$ , величине серија  $q_j$  и партија  $p_j$ , укупан број  $n_j$  и трајање  $t_i^{(j)}$  технолошких операција, релација (182).

$$SP = \{B_{pf}, P_k, B_k, N_{v,1} \mid v \in V^{(P)}, t_i = f(KPR), (q_j, p_j, n_j, \theta_{n_j}) \mid j = \overline{1, N_{v,1}}\}, \quad \theta_{n_j} = (t_i^{(j)}, i = \overline{1, n_j}) \quad (182)$$

На трајање  $TC$ -а  $SP$ -а утичу начини  $KPR$ , у оквиру и између  $PF$ -а, као и  $TC$ -и подграfoва  $T_{t_{v,1}}$  који су детерминисани карактеристичним путевима  $P_k$  у графу супротно оријентисаном од графа технолошке структуре  $SP$ -а (183). На слици 46 дат је приказ карактеристичног пута  $P_{v,1}$  са  $N_{v,1}$  нивоа, а на слици 47 приказан је један од карактеристичних путева  $P_{12,1}$  са подацима неопходним за прорачун.

$$\begin{aligned}
 (4) \wedge KPR &\Rightarrow T_{t_{v,1}} = \{T_{t_{v,1}}^{(p)}, T_{t_{v,1}}^{(k)}, T_{t_{v,1}}^{(u)}\} \forall v \in V^{(P)} \Rightarrow \\
 T_t^{(u)} &= \max_{v \in V^{(P)}} \{T_{t_{v,1}}^{(u)}\} \wedge T_t^{(p)} = \max_{v \in V^{(P)}} \{T_{t_{v,1}}^{(p)}\} \wedge T_t^{(k)} = \max_{v \in V^{(P)}} \{T_{t_{v,1}}^{(k)}\} \quad (183)
 \end{aligned}$$



Трајање  $TC$ -а  $T_{t_{v,1}}^{(u)}$  (184) подграфа  $P_{v,1}$ , који припада скупу карактеристичних путева  $P_k$ , по узастопном ( $U$ ) начину  $KPR$ , израчунаће се сабирањем  $TC$ -а  $t_{ij}^{(u)}$  свих  $PF$ -а које дефинишу подграф, формуле (185) и (186).

$$N = 1 \Rightarrow (129) \Rightarrow t_i^{(u)} = q \cdot \sum_{i=1}^n t_i,$$

$$N_{v,1} \geq 2 \Rightarrow T_{t_{v,1}}^{(u)} = \sum_{j=1}^{N_{v,1}} t_{ij}^{(u)} = \sum_{j=1}^{N_{v,1}} q_j \cdot \sum_{i=1}^{n_j} t_i^{(j)}, \quad \forall v \in V^{(p)} \quad (184)$$

$$T_t^{(u)} = \max_{v \in V^{(p)}} \left\{ T_{t_{v,1}}^{(u)} \right\} = \max_{P_k} \left\{ \sum_{j=1}^{N_{v,1}} q_j \cdot \sum_{i=1}^{n_j} t_i^{(j)} \right\},$$

$$\forall SP = \left\{ P_k, B_k, \left( N_{v,1}, v \in V^{(p)} \right), \left( t_{ij}^{(u)}, q_j, p_j = q_j, n_j, \theta_{n_j} \right) \mid j \in (1, N_{v,1}) \right\} \quad (185)$$

$$\left( q_j \mid j = \overline{1, N_{v,1}} \right) = q \wedge n_{u_{v,1}} = \sum_{j=1}^{N_{v,1}} n_j \wedge t_\beta = \left\{ \left( t_i^{(j)}, i = \overline{1, n_j} \right), j = \overline{1, N_{v,1}} \right\} \Rightarrow T_t^{(u)} = \max_{P_k} \left\{ q \cdot \sum_{\beta=1}^{n_{u_{v,1}}} t_\beta \right\} \quad (186)$$

Код паралелног ( $P$ ) начина предмет рада се сукцесивно, по партијама  $p_j$ , производи на свим технолошким операцијама унутар и између  $PF$ -а, које дефинишу подграф  $P_{v,1}$  који припада скупу карактеристичних путева у графу. На трајање  $TC$ -а  $T_{t_{v,1}}^{(p)}$  (187) подграфа  $P_{v,1}$  доминантно утиче, као и код  $PF$ -е, највећа вредност  $TC$ -а операције, без обзира на коме се нивоу, у оквиру подграфа, налази та операција. Трајање  $TC$ -а подграфа  $T_{t_{v,1}}^{(p)}$  може да се изрази и помоћу циклуса  $t_{ij}^{(p)}$   $PF$ -а (188). За прорачун  $TC$ -а  $SP$ -а  $T_t^{(p)}$  користе се формуле (189) и (190).

$$N = 1 \Rightarrow (132) \Rightarrow t_i^{(p)} = p \cdot \sum_{i=1}^n t_i + (q - p) \cdot \max_i \left\{ t_i, i = \overline{1, n} \right\},$$

$$N_{v,1} \geq 2 \Rightarrow T_{t_{v,1}}^{(p)} = \sum_{j=1}^{N_{v,1}} \left( p_j \cdot \sum_{i=1}^{n_j} t_i^{(j)} + \max_j \left\{ (q_j - p_j) \cdot \max_i \left\{ t_i^{(j)}, i = \overline{1, n_j} \right\}, j = \overline{1, N_{v,1}} \right\} \right) \Rightarrow$$

$$T_{t_{v,1}}^{(p)} = \sum_{j=1}^{N_{v,1}} p_j \cdot \sum_{i=1}^{n_j} t_i^{(j)} + \max_j \left\{ (q_j - p_j) \cdot \max_i \left\{ t_i^{(j)}, i = \overline{1, n_j} \right\}, j = \overline{1, N_{v,1}} \right\}, \quad \forall v \in V^{(p)} \quad (187)$$

$$\vee T_{t_{v,1}}^{(p)} = \sum_{j=1}^{N_{v,1}} t_{ij}^{(p)} + \max_j \left\{ (q_j - p_j) \cdot \max_i \left\{ t_i^{(j)}, i = \overline{1, n_j} \right\}, j = \overline{1, N_{v,1}} \right\} -$$

$$- \sum_{j=1}^{N_{v,1}} (q_j - p_j) \cdot \max_i \left\{ t_i^{(j)}, i = \overline{1, n_j} \right\}, \quad \forall v \in V^{(p)} \quad (188)$$

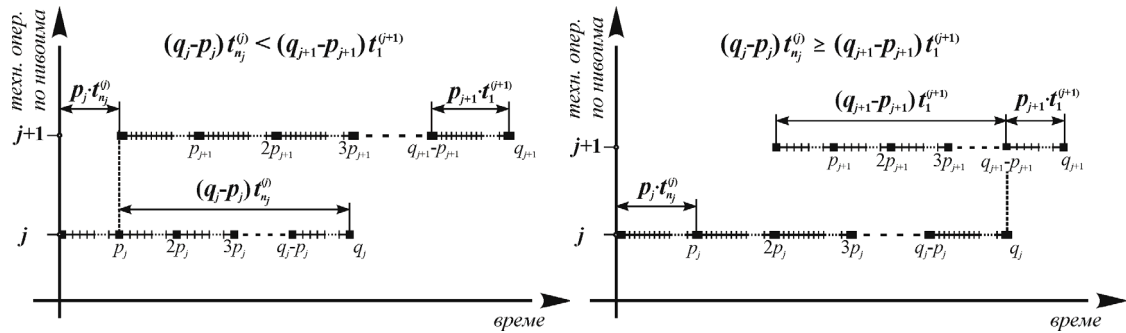
$$T_t^{(p)} = \max_{P_k} \left\{ \sum_{j=1}^{N_{v,1}} p_j \cdot \sum_{i=1}^{n_j} t_i^{(j)} + \max_j \left\{ (q_j - p_j) \cdot \max_i \left\{ t_i^{(j)}, i = \overline{1, n_j} \right\}, j = \overline{1, N_{v,1}} \right\} \right\} = \max_{v \in V^{(p)}} \left\{ T_{t_{v,1}}^{(p)} \right\}$$

$$\forall SP = \left\{ P_k, B_k, (N_{v,1}, v \in V^{(p)}) \left( t_{ij}^{(p)}, q_j, p_j, n_j, \theta_{n_j} \right) \mid j \in (1, N_{v,1}) \right\} \quad (189)$$

$$(q_j \mid j = \overline{1, N_{v,1}}) = q \wedge (p_j \mid j = \overline{1, N_{v,1}}) = p \wedge t_\beta = \left\{ t_i^{(j)}, i = \overline{1, n_j}, j = \overline{1, N_{v,1}} \right\} \Rightarrow$$

$$T_t^{(p)} = \max_{P_k} \left\{ p \cdot \sum_{\beta=1}^{n_{u_{v,1}}} t_\beta + (q - p) \cdot \max_{\beta} \left\{ t_\beta, \beta = \overline{1, n_{u_{v,1}}} \right\} \right\} \quad (190)$$

Истраживање формуле за прорачун технолошког циклуса  $SP$ -а по комбинованом ( $K$ ) начину  $KPR$ , за различите вредности партија и производних серија, заснива се на поређењу времена две суседне операције које припадају суседним  $PF$ -а ( $j, j+1$ ) односно, нивоима у оквиру подграфа  $P_{v,1}$ , слике 48 и 49.



Слика 48: Преклапање  $PF$ -а  $(q_j - p_j) \cdot t_{n_j}^{(j)}$       Слика 49: Преклапање  $PF$ -а  $(q_{j+1} - p_{j+1}) \cdot t_1^{(j+1)}$

Ако се од збира технолошких циклуса  $t_{ij}^{(k)}$   $PF$ -а одузму одговарајућа преклапања, у трајању задње и прве операције суседних  $PF$ -а које дефинишу карактеристичан пут, добиће се трајање  $T_{t_{v,1}}^{(k)}$   $TC$ -а подграфа  $P_{v,1}$  (191).

$$N = 1 \Rightarrow (140) \Rightarrow t_t^{(k)} = p \cdot \sum_{i=1}^n t_i + (q - p) \cdot \left( \sum_k t_k - \sum_j t_j \right),$$

$$N_{v,1} \geq 2 \Rightarrow T_{t_{v,1}}^{(k)} = \sum_{j=1}^{N_{v,1}} \left( p_j \cdot \sum_{i=1}^{n_j} t_i^{(j)} + (q_j - p_j) \cdot \left( \sum_k t_k^{(j)} - \sum_j t_j^{(j)} \right) \right) -$$

$$- \sum_{j=1}^{N_{v,1}-1} \left( (q_j - p_j) \cdot t_{n_j}^{(j)} \cdot E_j + (q_{j+1} - p_{j+1}) \cdot t_1^{(j+1)} (1 - E_j) \right),$$

$$\vee N = 1 \Rightarrow (147) \Rightarrow t_t^{(k)} = p \cdot \sum_{i=1}^n t_i + (q - p) \cdot \left( t_1 + \sum_{i=2}^n (t_i - t_{i-1}) \cdot F_i \right),$$

$$\begin{aligned}
 N_{v,1} \geq 2 \Rightarrow T_{t_{v,1}}^{(k)} &= \sum_{j=1}^{N_{v,1}} \left( p_j \cdot \sum_{i=1}^{n_j} t_i^{(j)} + (q_j - p_j) \cdot \left( t_1^{(j)} + \sum_{i=2}^{n_j} (t_i^{(j)} - t_{i-1}^{(j)}) \cdot F_i \right) \right) - \\
 &\quad - \sum_{j=1}^{N_{v,1}-1} \left( (q_j - p_j) \cdot t_{n_j}^{(j)} \cdot E_j + (q_{j+1} - p_{j+1}) \cdot t_1^{(j+1)} (1 - E_j) \right) \Rightarrow \\
 T_{t_{v,1}}^{(k)} &= \sum_{j=1}^{N_{v,1}} t_{t_j}^{(k)} - \sum_{j=1}^{N_{v,1}-1} \left( (q_j - p_j) \cdot t_{n_j}^{(j)} \cdot E_j + (q_{j+1} - p_{j+1}) \cdot t_1^{(j+1)} (1 - E_j) \right), \quad \forall v \in V^{(p)} \\
 (q_j - p_j) \cdot t_{n_j}^{(j)} < (q_{j+1} - p_{j+1}) \cdot t_1^{(j+1)} &\Rightarrow E_j = 1 \wedge (q_j - p_j) \cdot t_{n_j}^{(j)} \geq (q_{j+1} - p_{j+1}) \cdot t_1^{(j+1)} \Rightarrow E_j = 0 \quad (191)
 \end{aligned}$$

Трајање  $TC$ -а  $SP$ -а  $T_t^{(k)}$  могуће је израчунати помоћу формуле (192), која је написана у општем облику односно, за задате услове, помоћу формуле (193).

$$\begin{aligned}
 T_t^{(k)} &= \max_{P_k} \left\{ \sum_{j=1}^{N_{v,1}} t_{t_j}^{(k)} - \sum_{j=1}^{N_{v,1}-1} \left( (q_j - p_j) \cdot t_{n_j}^{(j)} \cdot E_j + (q_{j+1} - p_{j+1}) \cdot t_1^{(j+1)} (1 - E_j) \right) \right\} = \max_{v \in V^{(p)}} \left\{ T_{t_{v,1}}^{(k)} \right\} \\
 \forall SP &= \left\{ P_k, B_k, (N_{v,1}, v \in V^{(p)}) \left( t_{t_j}^{(k)}, q_j, p_j, n_j, \theta_{n_j} \right) \mid j \in (1, N_{v,1}) \right\} \quad (192)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 (q_j | j = \overline{1, N_{v,1}}) = q \wedge (p_j | j = \overline{1, N_{v,1}}) = p \Rightarrow T_t^{(k)} &= \max_{P_k} \left\{ p \cdot \sum_{\beta=1}^{n_{v,1}} t_{\beta} + (q - p) \cdot \left( t_1 + \sum_{i=2}^{n_{v,1}} (t_i - t_{i-1}) \cdot F_i \right) \right\}, \\
 t_i > t_{i-1} \Rightarrow F_i &= 1 \wedge t_i \leq t_{i-1} \Rightarrow F_i = 0, \quad t_{\beta} = \left\{ t_i^{(j)}, i = \overline{1, n_j}, j = \overline{1, N_{v,1}} \right\} \quad (193)
 \end{aligned}$$

У табели 13 приказани су параметри за прорачун  $TC$ -а  $PF$ -а  $SP$ -а чија је структура описана помоћу графа технолошке структуре, слика 10. Производ садржи 11  $PF$ -а распоређених у оквиру 4 нивоа (колона 2). У колонама 3, 4 и 5 дате су ознаке и коефицијенти за прорачун количина  $PF$ -а по формули (76). Технолошки процес дефинисан је помоћу скупа технолошких операција (колоне 7 и 8). Параметри за прорачун  $TC$ -а  $PF$ -а приказани су у колонама 9-12, а вредности  $TC$ -а  $PF$ -а, у зависности од начина  $KPR$ , у колонама 13-15. Количине  $PF$ -а прорачunate су у зависности од величине оптималне производне серије која је добијена помоћу формуле (116). Производна партија код свих  $PF$ -а је константна и износи један комад. У табели 14, колоне 2-6 приказани су одговарајући скупови карактеристичних путева, нивоа,  $PF$ -а и технолошких операција, дефинисаних помоћу супротно оријентисаног графа, слика 45. У колонама 7, 8 и 9 дате су вредности  $TC$ -а подграфа дефинисаних карактеристичним путевима.

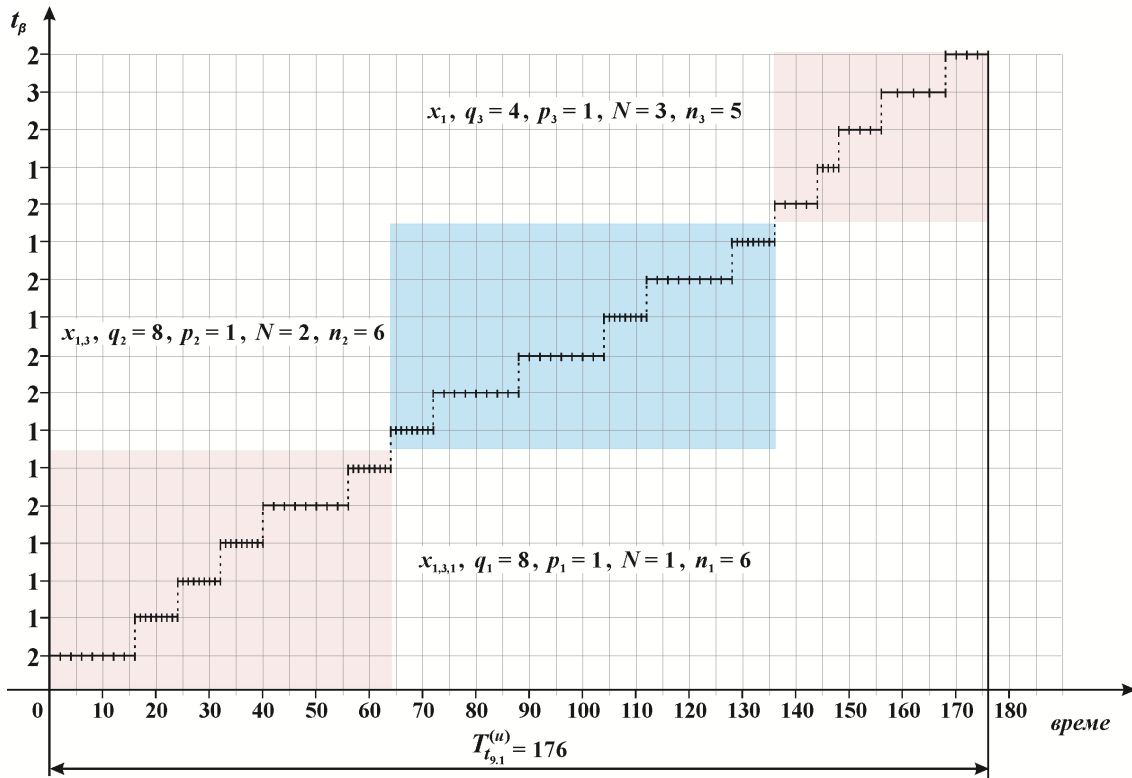
Табела 13: Параметри за прорачун  $TC$ -а  $PF$ -а  $SP$ -а  $X_1$  за оптималну вредност производне серије  $q_o = 4$  и партија  $p_j = p = 1$

Р.б.	Параметри $PF$ -а				Технолошки процес			Параметри $TC$ -а $PF$ -а				Трајање $TC$ $PF$ -а		
	$N$	$x_{i,j,k,\dots,m}$	$n_i$	$m_i$	$q_j$	$n_j$	$\theta_{n_j} = \left(t_i^{(j)} \mid i = \overline{1, n_j}\right)$	$\Sigma t_i$	$\Sigma t_k$	$\Sigma t_j$	$t_{\max}$	$t_t^{(p)}$	$t_t^{(k)}$	$t_t^{(u)}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	1.	$x_1$	1	1	4	5	(2, 1, 2, 3, 2)	10	5	1	3	19	22	40
2	2.	$x_{1,1}$	0,5	0,5	2	8	(6, 6, 5, 5, 6, 4, 4, 5)	41	17	9	6	47	49	82
3		$x_{1,2}$	1	1	4	5	(2, 1, 2, 1, 2)	8	6	2	2	14	20	32
4		$x_{1,3}$	2	2	8	6	(1, 2, 2, 1, 2, 1)	9	4	1	2	23	30	72
5		$x_{1,4}$	1,5	1,5	6	9	(3, 4, 3, 2, 2, 3, 4, 3, 3)	27	8	2	4	47	57	162
6	3.	$x_{1,2,1}$	2	2	8	6	(2, 3, 2, 1, 2, 2)	12	5	1	3	33	40	96
7		$x_{1,2,2}$	3	3	12	5	(2, 1, 1, 2, 1)	7	4	1	2	29	40	84
8		$x_{1,3,1}$	1	2	8	6	(2, 1, 1, 1, 2, 1)	8	4	1	2	22	29	64
9		$x_{1,3,2}$	2	4	16	5	(1, 1, 2, 1, 2)	7	5	2	2	37	52	112
10	4.	$x_{1,2,2,1}$	2	6	24	5	(1, 2, 1, 2, 1)	7	4	1	2	53	76	168
11		$x_{1,2,2,2}$	1	3	12	5	(2, 1, 1, 1, 3)	8	5	1	3	41	52	96

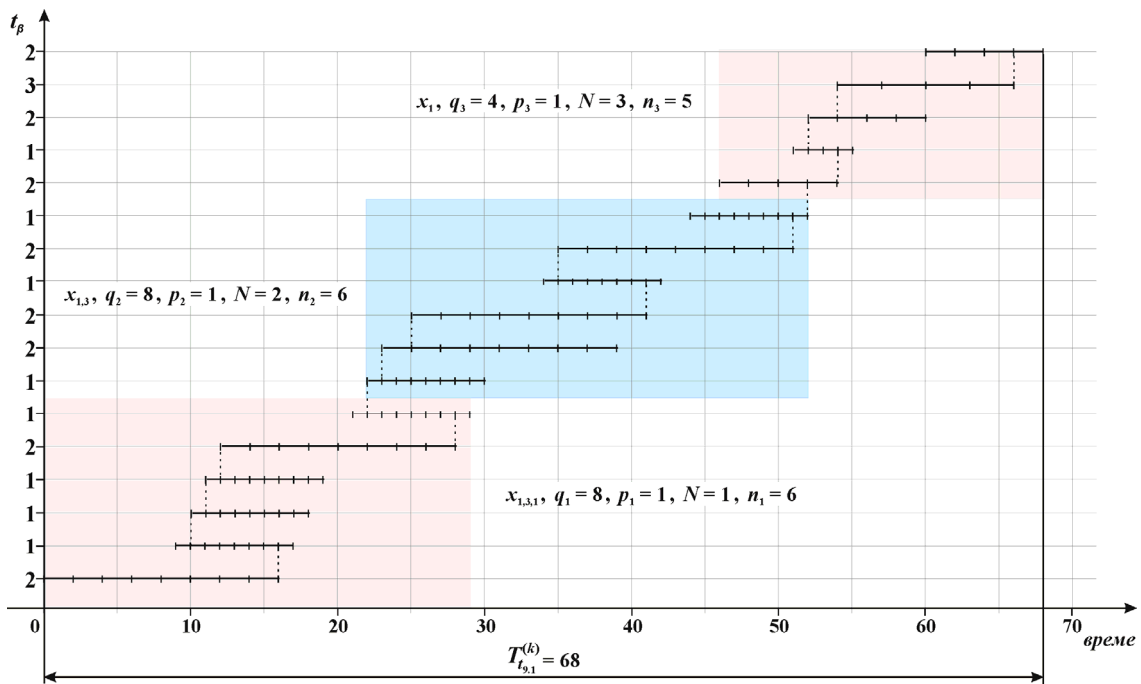
Табела 14: Параметри за прорачун  $TC$ -а подграфа  $P_k$  и  $SP$ -а  $X_1$  приказаног на сликама 10 и 45 (релација (181), табела 13)

Р.б.	Карактеристични путеви у $SP$ -у			Технолошки процес			Трајање $TC$ $P_{v,1}$		
	$P_k$	$N_{v,1}$	$PF$ -е	$n_{u,1}$	$t_{\beta} = \left(t_i \mid i = \overline{1, n_{u,1}}\right)$	$T_{t_{v,1}}^{(p)}$	$T_{t_{v,1}}^{(k)}$	$T_{t_{v,1}}^{(u)}$	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	
1	$P_{12,1}$	4	( $x_{1,2,2,2}, x_{1,2,2}, x_{1,2}, x_1$ )	20	(2, 1, 1, 1, 3, 2, 1, 1, 2, 1, 2, 1, 2, 1, 2, 2, 1, 2, 3, 2)	66	100	252	
2	$P_{11,1}$	4	( $x_{1,2,2,1}, x_{1,2,2}, x_{1,2}, x_1$ )	20	(1, 2, 1, 2, 1, 2, 1, 1, 2, 1, 2, 1, 2, 1, 2, 2, 1, 2, 3, 2)	78	124	324	
3	$P_{10,1}$	3	( $x_{1,3,2}, x_{1,3}, x_1$ )	16	(1, 1, 2, 1, 2, 1, 2, 2, 1, 2, 1, 2, 1, 2, 3, 2)	56	91	224	
4	$P_{9,1}$	3	( $x_{1,3,1}, x_{1,3}, x_1$ )	17	(2, 1, 1, 1, 2, 1, 1, 2, 2, 1, 2, 1, 2, 1, 2, 3, 2)	41	68	176	
5	$P_{7,1}$	3	( $x_{1,2,1}, x_{1,2}, x_1$ )	16	(2, 3, 2, 1, 2, 2, 2, 1, 2, 1, 2, 2, 1, 2, 3, 2)	51	70	168	
6	$P_{6,1}$	2	( $x_{1,4}, x_1$ )	14	(3, 4, 3, 2, 2, 3, 4, 3, 3, 2, 1, 2, 3, 2)	57	73	202	
7	$P_{3,1}$	2	( $x_{1,1}, x_1$ )	13	(6, 6, 5, 5, 6, 4, 4, 5, 2, 1, 2, 3, 2)	60	66	122	

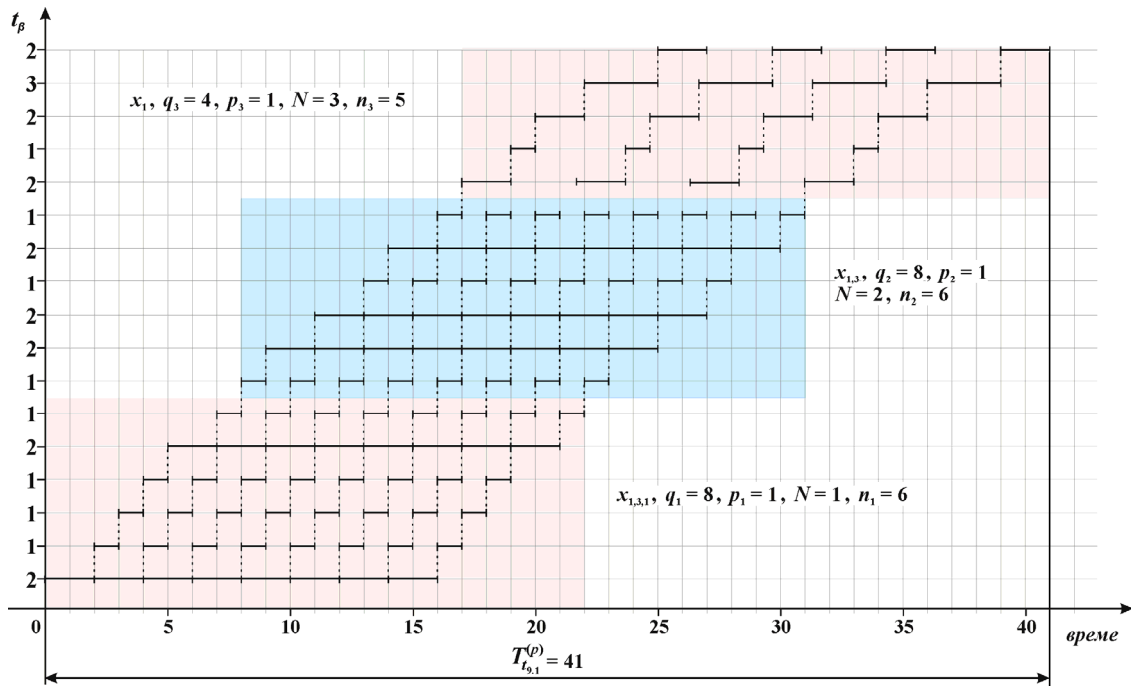
Трајање  $TC$  –а  $SP$ -а:  $T_t = \left(T_t^{(p)}, T_t^{(k)}, T_t^{(u)}\right) = (78, 124, 324)$       Критичан пут и  $PF$ -е у  $SP$ -у:  $P_{11,1} = (x_{1,2,2,1}, x_{1,2,2}, x_{1,2}, x_1)$



Слика 50: Гантов дијаграм за вредности  $TC$ -а  $T_{t_{9,1}}^{(u)}$  подграфа  $P_{9,1} \in P_k$  (слика 45)



Слика 51: Гантов дијаграм за вредности  $TC$ -а  $T_{t_{9,1}}^{(k)}$  подграфа  $P_{9,1} \in P_k$  (слика 45)



Слика 52: Гантов дијаграм за вредности  $TC$ -а  $T_{9,1}^{(p)}$  подграфа  $P_{9,1} \in P_k$  (слика 45)

Трајање  $TC$ -а  $SP$ -а  $X_1$ , критичан пут и критичне  $PF$ -е које га детерминишу приказани су у релацији (194). Вредности  $TC$ -а подграфа  $P_{9,1} \in P_k$  (табела 14, редни број 4) проверене су помоћу гантових дијаграма који су приказани на сликама 50 ( $U$ ), 51 ( $K$ ) и 52 ( $P$ ) у зависности од начина  $KPR$ .

$$T_t^{(u)} = \max_{v \in V^{(p)}} \{T_{t,v,1}^{(u)}\} = \max_{v \in V^{(p)}} \{122, 202, 168, 176, 224, 324, 252\} = 324, v \in V^{(p)} = \{3, 6, 7, 9, 10, 11, 12\},$$

$$T_t^{(k)} = \max_{v \in V^{(p)}} \{T_{t,v,1}^{(k)}\} = \max_{v \in V^{(p)}} \{66, 73, 70, 68, 91, 124, 100\} = 124, v \in V^{(p)} = \{3, 6, 7, 9, 10, 11, 12\},$$

$$T_t^{(p)} = \max_{v \in V^{(p)}} \{T_{t,v,1}^{(p)}\} = \max_{v \in V^{(p)}} \{60, 57, 51, 41, 56, 78, 66\} = 78, v \in V^{(p)} = \{3, 6, 7, 9, 10, 11, 12\} \Rightarrow$$

$$X_1 : P_{v,1} = P_{11} = (x_{1,2,2,1}, x_{1,2,2}, x_{1,2}, x_1) \Rightarrow T_t = (T_t^{(p)}, T_t^{(k)}, T_t^{(u)}) = (78, 124, 324), v=11 \in V^{(p)} \quad (194)$$

У прилогу 4 дат је програм за прорачун  $TC$ -а подграфова дефинисаних карактеристичним путевима у графу  $SP$ -а, а у прилогу 5 програм за прорачун  $TC$ -а  $SP$ -а, критичног пута у графу и  $PF$ -а које га детерминишу.

На основу наведених разматрања може се дефинисати универзално применљив концепт за прорачун  $TC$ -а  $SP$ -а  $T_t$  ( $III$ - ниво), релације (195) - (200). Производни програм  $P$  предузећа састоји се из више  $SP$ -а  $X_i$ . Сложен производ је у

потпуности дефинисан помоћу: графа технолошке структуре  $G$ , супротно оријентисаног графа  $G'$ , укупног броја  $PF$ -а  $B_{pf}$  и нивоа  $N$  у графу, скупа почетних чворова  $V^{(p)}$  односно, скупа карактеристичних путева  $P_k$  у супротно оријентисаном графу. Технолошки циклус  $SP$ -а зависи од броја карактеристичних путева  $B_k$  и нивоа  $N_{v,1}$ , у зависности од позиције почетних чворова  $v$ . У оквиру скупа  $B_k$  дати су подаци неопходни за прорачун  $TC$ -а подграфа  $P_k$ .

$$\begin{aligned}
 III - Nivo: P = \{X_i, i = \overline{1, n}\}, X_i = \{G = (V, E), G' = (V', E), B_{pf}, N, P_k, B_k, V^{(p)}, q_o\} \\
 V = \{V^{(b)}, V^{(u)}, V^{(s)}\}, V' = \{V^{(z)}, V^{(u)}, V^{(p)}\}, E = \{x_i, x_{i,j}, x_{i,j,k}, \dots, x_{i,j,k,\dots,m}\}, B_{pf} = |V| - 1, \\
 B = \{N_{v,1}, t_{ij} = f(KPR), (q_j = f(q_o), p_j, n_j, \theta_{n_j}) | j = \overline{1, N_{v,1}} \forall v \in V^{(p)}\}, \theta_{n_j} = (t_i^{(j)}, i = \overline{1, n_j}) \\
 (20) \wedge (21) \wedge (23) \wedge (65) \wedge (67) \wedge (116) \wedge (117) \wedge (167 - 169) \wedge (170 - 177) \wedge (178 - 180) \wedge \\
 \wedge (182 - 193) \Rightarrow T_t = \left\{ \max_{v \in V^{(p)}} \{T_{t_{v,1}}^{(u)}\}, \max_{v \in V^{(p)}} \{T_{t_{v,1}}^{(p)}\}, \max_{v \in V^{(p)}} \{T_{t_{v,1}}^{(k)}\} \right\} = \{T_t^{(u)}, T_t^{(p)}, T_t^{(k)}\}
 \end{aligned}$$

↓

$$\begin{aligned}
 T_t = \frac{1}{H} \cdot \max_{v \in V^{(p)}} \left\{ \sum_{j=1}^{N_{v,1}} (t_{ij} + T_{pz_j} + T_{pp_j}) - z \right\} = \frac{1}{H} \cdot \max_{v \in V^{(p)}} \left\{ \sum_{j=1}^{N_{v,1}} t_{ij} - z + T_{pz} + T_{pp} \right\} \\
 t_{ij} = \{t_{ij}^{(u)}, t_{ij}^{(k)}, t_{ij}^{(p)}\}, q_j \geq 1 \wedge 1 \leq p_j \leq q_j \quad (195)
 \end{aligned}$$

$$(195) \wedge q_j = p_j = 1 \Rightarrow z = 0 \wedge T_t \equiv T_t^{(u)} = T_t^{(p)} = T_t^{(k)},$$

$$\begin{aligned}
 T_t \equiv T_t^{(u)} = T_t^{(p)} = T_t^{(k)} = \frac{1}{H} \cdot \max_{v \in V^{(p)}} \left\{ \sum_{\beta=1}^{n_{u_{v,1}}} (t_{\beta} + T_{pz_{\beta}} + T_{pp_{\beta}}) \right\}, \\
 t_{\beta} = \left\{ (t_i^{(j)}, i = \overline{1, n_j}), j = \overline{1, N_{v,1}} \right\} = (t_i, i = \overline{1, n_{u_{v,1}}}), n_{u_{v,1}} = \sum_{j=1}^{N_{v,1}} n_j \quad (196)
 \end{aligned}$$

$$(195) \wedge q_j > 1 \wedge p_j = q_j \Rightarrow z = 0 \wedge T_t = T_t^{(u)} = \frac{1}{H} \cdot \max_{v \in V^{(p)}} \left\{ \sum_{j=1}^{N_{v,1}} t_{ij}^{(u)} + T_{pz} + T_{pp} \right\} \quad (197)$$

$$\begin{aligned}
 (195) \wedge z = \sum_{j=1}^{N_{v,1}} (q_j - p_j) \cdot \max_i \{t_i^{(j)}, i = \overline{1, n_j}\} - \max_j \left\{ (q_j - p_j) \cdot \max_i \{t_i^{(j)}, i = \overline{1, n_j}\}, j = \overline{1, N_{v,1}} \right\} \Rightarrow \\
 T_t = T_t^{(p)} = \frac{1}{H} \cdot \max_{v \in V^{(p)}} \left\{ \sum_{j=1}^{N_{v,1}} t_{ij}^{(p)} + T_{pz} + T_{pp} - z \right\} \quad (198)
 \end{aligned}$$

$$(195) \wedge z = \sum_{j=1}^{N_{v,1}-1} \left( (q_j - p_j) \cdot t_{n_j}^{(j)} \cdot E_j + (q_{j+1} - p_{j+1}) \cdot t_1^{(j+1)} (1 - E_j) \right),$$

$$(q_j - p_j) \cdot t_{n_j}^{(j)} < (q_{j+1} - p_{j+1}) \cdot t_1^{(j+1)} \Rightarrow E_j = 1 \wedge (q_j - p_j) \cdot t_{n_j}^{(j)} \geq (q_{j+1} - p_{j+1}) \cdot t_1^{(j+1)} \Rightarrow E_j = 0 \Rightarrow$$

$$T_t = T_t^{(k)} = \frac{1}{H} \cdot \max_{v \in V^{(p)}} \left\{ \sum_{j=1}^{N_{v,1}} t_{ij}^{(k)} + T_{pz} + T_{pp} - z \right\} \quad (199)$$

$$\begin{aligned} (195) \wedge & \left\{ \left( (q_j^{(\beta)} - p_j^{(\beta)}) \cdot t_{\beta}^{(j)} \geq (q_j^{(\beta+1)} - p_j^{(\beta+1)}) \cdot t_{\beta+1}^{(j)} \right) \middle| \beta = \overline{1, n_{u_{k,1}} - 1} \wedge j \in \overline{1, N_{k,1}} \vee \right. \\ & \vee \left. \left( (q_j^{(\beta)} - p_j^{(\beta)}) \cdot t_{\beta}^{(j)} \leq (q_j^{(\beta+1)} - p_j^{(\beta+1)}) \cdot t_{\beta+1}^{(j)} \right) \middle| \beta = \overline{1, n_{u_{k,1}} - 1} \wedge j \in \overline{1, N_{k,1}} \vee \right. \\ & \vee \left. \left\{ \left( (q_j^{(\beta)} - p_j^{(\beta)}) \cdot t_{\beta}^{(j)} \leq (q_j^{(\beta+1)} - p_j^{(\beta+1)}) \cdot t_{\beta+1}^{(j)} \right) \middle| \beta = \overline{1, i} \wedge \right. \right. \\ & \wedge \left. \left. \left( (q_j^{(\beta)} - p_j^{(\beta)}) \cdot t_{\beta}^{(j)} \geq (q_j^{(\beta+1)} - p_j^{(\beta+1)}) \cdot t_{\beta+1}^{(j)} \right) \middle| \beta = \overline{i, n_{u_{k,1}} - 1} \right\} \middle| j \in \overline{1, N_{k,1}} \right\} \wedge \\ & \wedge T_{t_{k,1}}^{(p)} = \max_{v \in V^{(p)}} \left\{ T_{t_{v,1}}^{(p)} \right\} \wedge T_{t_{k,1}}^{(k)} = \max_{v \in V^{(p)}} \left\{ T_{t_{v,1}}^{(k)} \right\} \Rightarrow T_{t_{k,1}}^{(p)} = T_{t_{k,1}}^{(k)} \Rightarrow \\ & T_t : T_t^{(p)} = T_t^{(k)} \leq T_t^{(u)} \quad \forall k = v \in V^{(p)} \end{aligned} \quad (200)$$

Општа формула за прорачун  $TC$ -а  $SP$ -а приказана је помоћу релације (195). У зависности од вредности параметара  $q_j, p_j, z$  и осталих услова који се односе на трајање технолошких операција, дефинисани су  $TC$ - и по узастопном, паралелном и комбинованом начину  $KPR$ , као и односи између њих. Услови за једнакост  $TC$ -а  $SP$ -а дати су у формули (196), а за једнакост  $TC$ -а по комбинованом и паралелном начину  $KPR$  у формули (200). Формулу (197) користимо за прорачун  $TC$ -а по узастопном, (198) по паралелном и (199) по комбинованом начину  $KPR$ .

Карактеристични пут који има најдужи  $TC$  назива се критични пут у графу. Он дефинише циклус  $SP$ -а, а  $PF$ -е које га чине називају се критичне  $PF$ -е. У графу који описује структуру  $SP$ -а може да има више критичних путева.

Ознаке у формулама имају следећа значења:  $t_{ij}^{(u)}, t_{ij}^{(p)}, t_{ij}^{(k)}$  - трајање  $TC$ -а  $PF$ -е, у зависности од начина  $KPR$ , која се налази на  $j$ - том нивоу подграфа који је дефинисан карактеристичним путем  $P_{v,1}$  од почетног чвора  $v$  до завршног чвора у графу  $\{z\} = \{1\}$ ,  $T_{pz}, T_{pp}$  - укупно припремно-завршно време и време природних процеса свих  $PF$ -а које дефинишу карактеристични пут у графу  $P_{v,1}$ ,  $T_{pzj}, T_{ppj}$  - припремно-завршно време и време природних процеса  $j$ - те  $PF$ -е,  $T_{pz\beta}, T_{pp\beta}$  - припремно-завршно време и време природних процеса технолошке операције,  $t_{\beta}$  - скуп технолошких операција свих  $PF$ -а које дефинишу карактеристични пут у графу  $P_{v,1}$ ,  $N_{v,1}$  - број нивоа у подграфу  $P_{v,1}$ ,  $N_{k,1}$  - број нивоа ( $PF$ -а) на



критичном путу,  $n_{u_{v,1}}$  - број технолошких операција свих  $PF$ -а које дефинишу карактеристични пут у графу  $P_{v,1}$ ,  $n_{u_{k,1}}$  - број технолошких операција свих  $PF$ -а које дефинишу критичан пут у графу,  $(t_i^{(j)}, i = \overline{1, n_j})$  - низ технолошких операција пројектованих за израду  $j$ -те  $PF$ -е,  $q_j^{(\beta)}, p_j^{(\beta)}$  - количине производне серије и партије које се односе на  $j$ -ту  $PF$ -у и технолошку операцију  $\beta \in (1, n_{u_{v,1}})$ ,  $t_\beta^{(j)}$  - трајање технолошке операције која истовремено припада  $j$ -тој  $PF$ -и и подграфу.

Најкраћи  $TC$   $SP$ -а по  $P$  и  $K$  начину  $KPR$  добиће се по формулама (201) и (202).

$$T_t^{(p)} = \frac{1}{H} \cdot \max_{v \in V^{(p)}} \left\{ \sum_{\beta=1}^{n_{u_{v,1}}} t_\beta + T_{pz} + T_{pp} + \max_j \left\{ (q_j - 1) \cdot \max_i \left\{ t_i^{(j)}, i = \overline{1, n_j} \right\}, j = \overline{1, N_{v,1}} \right\} \right\} \quad (201)$$

$$\begin{aligned} T_t^{(k)} &= \frac{1}{H} \cdot \max_{v \in V^{(p)}} \left\{ \sum_{\beta=1}^{n_{u_{v,1}}} t_\beta + T_{pz} + T_{pp} + \sum_{j=1}^{N_{v,1}} (q_j - 1) \cdot \left( \sum_k t_k^{(j)} - \sum_j t_j^{(j)} \right) - \right. \\ &\quad \left. - \sum_{j=1}^{N_{v,1}-1} \left( (q_j - 1) \cdot t_{n_j}^{(j)} \cdot E_j + (q_{j+1} - 1) \cdot t_1^{(j+1)} (1 - E_j) \right) \right\} \vee \\ \vee T_t^{(k)} &= \frac{1}{H} \cdot \max_{v \in V^{(p)}} \left\{ \sum_{\beta=1}^{n_{u_{v,1}}} t_\beta + T_{pz} + T_{pp} + \sum_{j=1}^{N_{v,1}} (q_j - 1) \cdot \left( t_1^{(j)} + \sum_{i=2}^{n_j} (t_i^{(j)} - t_{i-1}^{(j)}) \cdot F_i \right) - \right. \\ &\quad \left. - \sum_{j=1}^{N_{v,1}-1} \left( (q_j - 1) \cdot t_{n_j}^{(j)} \cdot E_j + (q_{j+1} - 1) \cdot t_1^{(j+1)} (1 - E_j) \right) \right\}, \\ (q_j - 1) \cdot t_{n_j}^{(j)} &< (q_{j+1} - 1) \cdot t_1^{(j+1)} \Rightarrow E_j = 1 \wedge (q_j - 1) \cdot t_{n_j}^{(j)} \geq (q_{j+1} - 1) \cdot t_1^{(j+1)} \Rightarrow E_j = 0 \wedge \\ &\wedge \left( t_i^{(j)} > t_{i-1}^{(j)} \Rightarrow F_i = 1 \wedge t_i^{(j)} \leq t_{i-1}^{(j)} \Rightarrow F_i = 0 \right) \Big| i = \overline{2, n_j} \wedge j \in (\overline{1, N_{v,1}}) \quad (202) \end{aligned}$$

Трајање  $TC$ -а  $PF$ -е  $t_t^{(p)}$ , II – ниво, и  $SP$ -а  $T_t^{(p)}$ , III – ниво, најкраће је по паралелном ( $P$ ) начину  $KPR$  (173 и 201) ако се процес производње серије  $q$  реализује у партијама од  $p = 1$  комад. Међутим, тада су  $TC$ -и операција, I – ниво, најдужи (169) јер је трајање  $t_{ti}^{(o,p)}$  циклуса увећано за износ унутароперацијских технолошких застоја  $\tau_{uo_i}$ . Са аспекта економике пословања намеће се дилема да ли је паралелни начин организације тока редоследа операција најоптималнији односно, да ли треба, на уштрб најкраћег циклуса, нерационално користити производне капацитете на операцијама где су технолошки застоји неминовност.

### 3.6 Модели за пројектовање производних циклуса

Анализа производних циклуса има за циљ да утврди њихово стварно трајање и на основу поређења остварених  $T_{cs}$  ( $t_{cs}$ ) и технолошких  $T_t$  ( $t_t$ ) вредности да се израчунају укупни губици у циклусу  $G_{cs}$  ( $g_{cs}$ ). Кроз пројектоване вредности циклуса  $T_{cp}$  ( $t_{cp}$ ) могуће је скратити његово трајање на тај начин што ће се анализирати структура и узрочници губитака са тежњом да се оптимизују, а неки од њих и елиминишу. Значи, пројектовање као сталан, динамичан и цикличан процес има за циљ перманентну тежњу ка минимизацији губитака што значи да укупни пројектовани (планирани) губици  $G_{cp}$  ( $g_{cp}$ ) треба увек да буду мањи од остварених  $G_{cs}$  ( $g_{cs}$ ), на свим нивоима оптимизације, релација (203), слика 7.

$$\begin{aligned} T_{cs} &= T_t + G_{cs}, & T_{cp} &= T_t + G_{cp}, & T_t < T_{cp} < T_{cs} &\Rightarrow G_{cp} < G_{cs} \\ t_{cs} &= t_t + g_{cs}, & t_{cp} &= t_t + g_{cp}, & t_t < t_{cp} < t_{cs} &\Rightarrow g_{cp} < g_{cs} \end{aligned} \quad (203)$$

Разлози за коришћење пројектног приступа при истраживању *PC*-а *SP*-а могу се пронаћи и у дефиницијама пројекта [103], као што су :

- Дефиниција "*Пројекат је скуп активности које доносе промену*" настала је, пре свега, из потребе да се направи линија разграничења између процеса и пројекта. Процес представља скуп активности које се континуирано и рутински обављају и где је познато трајање и редослед њиховог одвијања приликом трансформације улаза у излаз, што у потпуности одговара технолошком (идеалном) циклусу. Међутим, на производни циклус, поред технолошког процеса, утичу ограничења која произилазе из саме природе *PPS*-а али и друге активности везане за начин организовања, планирања, праћења и управљања производњом, које нису рутинског карактера.
- Дефиниција "*Пројекат је сложен и непоновљив пословни подухват усмерен, са одговарајућим ризиком, према унапред дефинисаном циљу, који се реализује са ограниченим људским, материјалним и временским ресурсима*", указује на сложеност производног циклуса на коју утичу многобројни фактори које треба идентификовати и утврдити њихову условљеност и законитост у понашању. Структура и специфичност производног програма, техничко-технолошки и организациони нивои, специфични захтеви купаца, оријентација *PPS*-а на извоз, сложеност производа и ограничења (законска регулатива, производни и финансијски ресурси) утичу на временску и трошковну карактеристику

производног циклуса које су, по природи ствари, стохастичке величине мада су у поруџбинама, кроз цену и рок испоруке, стриктно детерминисане.

- Гледано кроз призму предузетништва "*Пројекат можемо дефинисати као рад који је потребно уложити како би се шанса претворила у вредност*", пројектни приступ потенцира потребу за пројектовањем и профитабилношћу производних циклуса кроз правовремено и планско ангажовање пословних потенцијала ради добијања квалитетног и поузданог производа који по обиму, роковима испоруке и ценама задовољава пробирљиве захтеве купаца.

У досадашњој пракси већина аутора се бавила технолошким и стварним циклусом и губицима у циклусу. Истраживање технолошких и производних циклуса је од изузетног значаја јер омогућава квантификацију идеалних и остварених величина у процесу производње. Међутим, са аспекта *PPS*-а, то није довољно. Пројектни приступ овој проблематици треба да омогућава реализацију конкретних уговора у задатом року и потврди апликативност теоријских модела и верификацију постављених хипотеза у реалним условима привређивања.

На темељу анализе цитираних радова (табела 2, прилог 1) може се закључити да је у фокусу досадашњих истраживања заступљена појединачна и малосеријска производња, где се технолошке вредности дефинишу на бази узастопног начина *KPR* односно, великосеријска и масовна производња, где се технолошки циклус дефинише на бази паралелног начина производње која је заснована на принципима континуитета, проточности, ритмичности и аутоматизације.

Прорачун технолошког и пројектовање производног циклуса *SP*-а у условима серијске производње коју карактерише дисконтинуитет, различите вредности серија и производних партија, и комбиновани начин *KPR* до сада нису истраживани. Са аспекта теоријских разматрања и индустријске праксе од изузетног је значаја овладати кључним параметрима који утичу на трајање циклуса у условима серијске производње где доминирају прекидни процеси условљени разноврсним технологијама и достигнутим техничко-технолошким нивоом. У производном процесу могу да буду заступљене високопродуктивне машине, стандардне и специјализоване намене, и технолошки системи код којих је присутна концентрација операција, али и опрема и уређаји универзалног типа, где је изражена диференцијација технолошких операција (*TO*).

Пре него што се приступи пројектовању *PC*-а потребно је обезбедити технолошку документацију, теоријску основу и информатичку подршку за прорачун *TC*-а *SP*-а у зависности од начина *KPR* што је детаљно учињено у претходном поглављу (тачка 3.5). Затим је потребно утврдити трајање *PC*-а, укупне губитке у циклусу, идентификовати и истражити узрочнике губитака и измерити њихов утицај. Разноврсни и комплексни услови у оквиру којих се одвијају циклуси серијске производње *SP*-а захтевају интегрисан приступ при истраживању и пројектовању теоријског оквира заснованог на преклапању *TO* и *PF*-а у процесу производње.

У методолошком смислу пројектовање *PC*-а *SP*-а заснива се на три алгоритамска корака. *Први корак* у процесу пројектовања везан је за прорачун циклуса *TO* уважавајући реалне услове у којима се одвија процес производње. У *другом кораку* потребно је пројектовати циклус  $t_{cp}$  критичних *PF*-а респектујући усвојене губитке у циклусу  $g_{cp}$  и комбиновани начин организације тока редоследа *TO* у процесу производње. *Трећи алгоритамски корак* подразумева пројектовање *PC*-а *SP*-а уважавајући пројектоване циклусе критичних *PF*-а и принцип преклапања између суседних *PF*-а које чине критичан пут (путеве) у супротно оријентисаном графу од графа технолошке структуре *SP*-а.

### 3.6.1 Пројектовање временске димензије операције и производне фазе

На основу претходног излагања може се закључити да је дужина (трајање) производног циклуса стохастичка величина на коју директно утичу:

- фактори везани за развој производа и производни програм (укупан број, врсте, количине и сложеност производа),
- производни потенцијали система и ниво аутоматизације производног процеса (људски ресурси, опрема, простор),
- финансијски потенцијали (обртна средства, залихе инпута, величина и структура недовршене производње),
- заступљене технологије и распоред производне опреме (радних места),
- обим производње и начини кретања предмета рада у процесу производње (оптимална серија, производна партија, тип производње),

- фактори везани за усвојену производну доктрину и информатичку подршку у свим фазама проточности материјала,
- методе и технике које се користе за планирање, праћење и управљање производним процесима,
- узрочници губитка у циклусу.

За разлику од технолошких вредности циклуса по комбинованом начину *KPR* (204), пројектована времена трајања производње по операцијама, треба да уваже реалне услове у којима се одвија производни процес, релације (205) - (209).

$$(168) \wedge H_i = C_s \cdot S_{d_i} \wedge t_i : \frac{n\check{c}}{kom} \Rightarrow t_{t_i}^{(o,k)} = \frac{T_{pz_i}}{H_i} + \frac{q_j \cdot t_i}{H_i} + \frac{T_{pp_i}}{H_i},$$

$$t_{pz_i} = \frac{T_{pz_i}}{H_i} \wedge t_{pp_i} = \frac{T_{pp_i}}{H_i} \wedge t_i^{(j)} = \frac{q_j \cdot t_i}{H_i} \Rightarrow t_{t_i}^{(o,k)} = t_{pz_i} + t_i^{(j)} + t_{pp_i}$$

$$t_{pp_i} = 0 \Rightarrow t_{t_i}^{(o,k)} = t_{pz_i} + t_i^{(j)} \forall r_i = 1 \wedge i = \overline{1, n_j} \wedge j \in PF \quad (204)$$

$$t_i^{(s)} : \frac{e\check{c}}{kom} \wedge t_i \neq t_i^{(s)} \wedge r_i = 1 \Rightarrow t_i^{(s)} = f(t_i, p_{n_i}),$$

$$(t_i^{(s)} \cdot q_j) \cdot p_{n_i} = t_i \cdot q_j \Rightarrow p_{n_i} = \frac{t_i \cdot q_j}{t_i^{(s)} \cdot q_j} = \frac{\sum n\check{c}}{\sum e\check{c}} \wedge$$

$$t_i^{(s)} = \frac{t_i}{p_{n_i}} \forall r_i = 1 \wedge i = \overline{1, n_j} \wedge j \in PF, \quad p_{n_i} \begin{cases} < \\ = \\ > \end{cases} 1 \quad (205)$$

$$(205) \wedge r_i > 1 \Rightarrow t_i^{(s)} = f(t_i, p_{n_i}, r_i) \Rightarrow t_i^{(s)} = \frac{t_i}{p_{n_i} \cdot r_i} \forall i = \overline{1, n_j} \wedge j \in PF \quad (206)$$

$$(204) \wedge (206) \wedge q_{n_i} = \frac{1}{t_i} \wedge H_i = C_{s_i} \cdot S_{d_i} \wedge C_{s_i} = C_s \cdot \mu_i \wedge q_{s_i} = q_{n_i} \cdot C_s \Rightarrow$$

$$\tau_i = t_{pz_i} + \frac{q_j \cdot t_i^{(s)}}{C_{s_i} \cdot S_{d_i}}, \quad \tau_i^{(j)} = \frac{q_j \cdot t_i^{(s)}}{C_{s_i} \cdot S_{d_i}} = \frac{t_i}{r_i \cdot p_{n_i}} \cdot \frac{q_j}{C_s \cdot \mu_i \cdot S_{d_i}} =$$

$$= \frac{1}{\frac{1}{t_i} \cdot C_s} \cdot \frac{q_j}{r_i \cdot p_{n_i} \cdot \mu_i \cdot S_{d_i}} = \frac{q_j}{q_{s_i} \cdot r_i \cdot S_{d_i} \cdot p_{n_i} \cdot \mu_i} \wedge f_i = q_{s_i} \cdot r_i \cdot S_{d_i} \cdot p_{n_i} \cdot \mu_i \Rightarrow \tau_i^{(j)} = \frac{q_j}{f_i},$$

$$\tau_i = t_{pz_i} + \tau_i^{(j)} = t_{pz_i} + \frac{q_j}{f_i} \forall r_i > 1 \wedge C_{s_i} \leq C_s \wedge i = \overline{1, n_j} \wedge j \in PF \quad (207)$$

$$(204) \wedge (207) \Rightarrow t_{t_i}^{(o,k)} = \tau_i \Rightarrow t_i^{(j)} = \tau_i^{(j)} \Rightarrow \frac{q_j \cdot t_i}{C_s \cdot S_{d_i}} = \frac{q_j}{q_{s_i} \cdot r_i \cdot S_{d_i} \cdot p_{n_i} \cdot \mu_i} \Rightarrow$$

$$\frac{q_j}{q_{s_i} \cdot S_{d_i}} = \frac{q_j}{q_{s_i} \cdot r_i \cdot S_{d_i} \cdot p_{n_i} \cdot \mu_i} \Rightarrow r_i \cdot p_{n_i} \cdot \mu_i = 1 \Rightarrow$$

$$r_i \cdot p_{n_i} \cdot \mu_i \geq 1 \Rightarrow \tau_i \leq t_{t_i}^{(o,k)} \wedge r_i \cdot p_{n_i} \cdot \mu_i < 1 \Rightarrow \tau_i > t_{t_i}^{(o,k)} \quad (208)$$

$$g_m = \sum_i g_i \wedge z_g = \sum_j z_j \wedge F_{nc} = D_r \cdot C_s \cdot p_n \wedge \xi_r = \frac{z_r \cdot F_{nc} + P_e}{z_r \cdot F_{nc}},$$

$$\mu_i = f(\mu_m, \mu_r), \quad \mu_m = 1 - g_m, \quad \mu_r = (1 - z_g) \cdot \xi_r \quad (209)$$

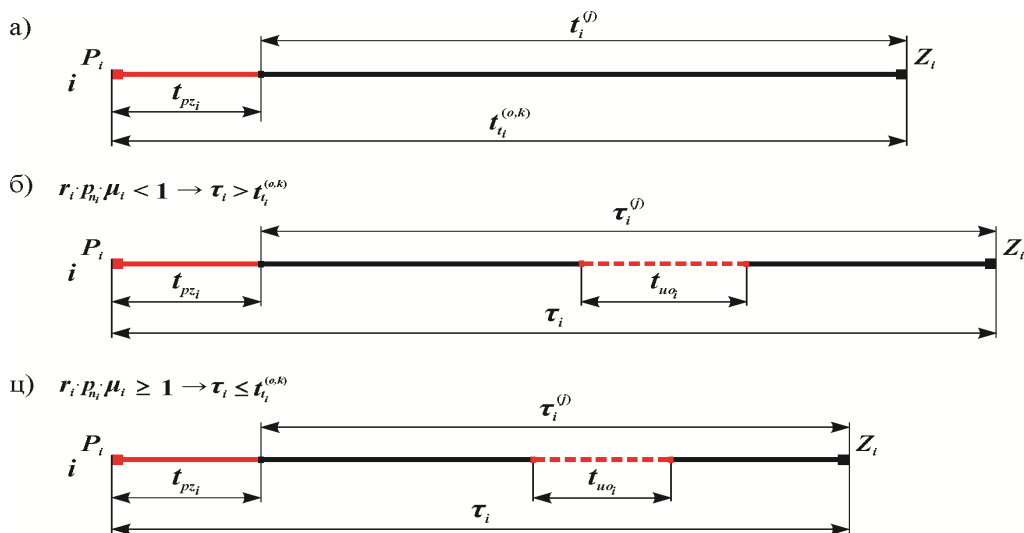
$$\tau_i^{(j)} = t_{uo_i} + \tau_i^* \Rightarrow t_{uo_i} = (1 - \mu_i) \cdot \tau_i^{(j)} \wedge \tau_i^* = \mu_i \cdot \tau_i^{(j)} \wedge \tau_i = t_{pz_i} + t_{uo_i} + \tau_i^* \quad (210)$$

Технолошко  $t_{t_i}^{(o,k)}$  и пројектовано  $\tau_i$  трајање циклуса операције не садржи време природних процеса  $t_{ppi}$  јер ово време, по правилу, није прописано у оквиру *ТО*-е. Обично се сврстава у међуоперацијске губитке у циклусу мада га треба третирати као операцију. За природне процесе потребно је фиксно време, које не захтева рад непосредних извршилаца, али захтева ангажовање одговарајуће амбалаже и простора тј. финансијских средстава. Пројектована вредност циклуса операције  $\tau_i$  садржи технолошку и организациону компоненту. Технолошка компонента је обухваћена преко капацитета у смени  $q_{s_i}$ . Организациона компонента обухвата: пројектован број  $r_i$  радних места у оквиру технолошке операције, пројектован број смена  $S_{d_i}$  у радном дану, реалност нормираних времена мерена коефицијентом извршења норме  $p_{n_i}$  и пројектовано коришћење радног времена у смени  $C_{s_i}$  кроз вредност коефицијента  $\mu_i$ . У зависности од заступљених времена у структури временске норме (машинско, комбиновано, ручно) потребно је идентификовати узрочнике губитака машинских капацитета ( $i$ ) и производних људских ресурса ( $j$ ) и измерити њихов утицај  $(g_i, z_j)$  на коришћење производних капацитета  $\mu_i$  (209).

Пројектовани унутароперацијски застоји  $t_{uo_i}$  директно зависе од коришћења производних капацитета, односно од коефицијента  $\mu_i$  (210). Пројектован степен коришћења  $\mu_m$  машинских капацитета у суштини представља реално расположив потенцијал сваке од машина. Степен коришћења машинских капацитета и актуелни губици, по узрочницима застоја, могу се измерити на различите начине.

У овом истраживању користиће се Метода тренутних запажања (MTZ). Ова метода је заснована на математичкој статистици и теорији узорака. Да би се применила потребно је дефинисати репрезентативан узорак, одабрати временски период када треба снимати (месец, дан, смена, потребан број опажања у смени) и извршити припрему за снимање (обука снимача, идентификација узрочника губитака, припремити снимачки лист, дефинисати путању кретања снимача, редослед снимања, унос и обраду података).

Истраживање узрочника губитака радног времена и степена коришћења производних људских ресурса значајно је за радна места и технолошке операције где је претежно заступљен ручни рад [174, 219, 220]. У циљу идентификације и откривања законитости у понашању узрочника губитака радног времена потребно је анализирати одговарајуће податке прикупљене на основу евиденције рада радника. Пројектован степен коришћења производних радника  $\mu_r$  зависи од укупних губитака  $z_g$  и коефицијента прековременог ангажовања  $\xi_r$ , на који утичу расположиви фонд норма часова по раднику  $F_{nc}$  и прековремено ангажовање радника  $P_e$  (209).



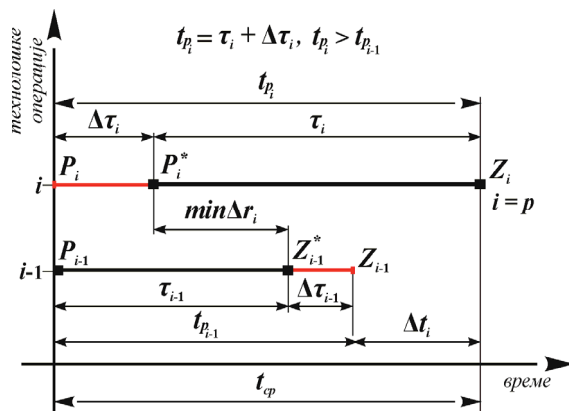
Слика 53: Однос између технолошког и пројектованог циклуса операције

На слици 53, формула (210), приказани су саставни елементи технолошког  $t_i^{(o,k)}$  (а) и пројектованог  $\tau_i$  (б, ц) циклуса  $TO$ -е и њихов однос у зависности од услова који су дефинисани релацијом (208).

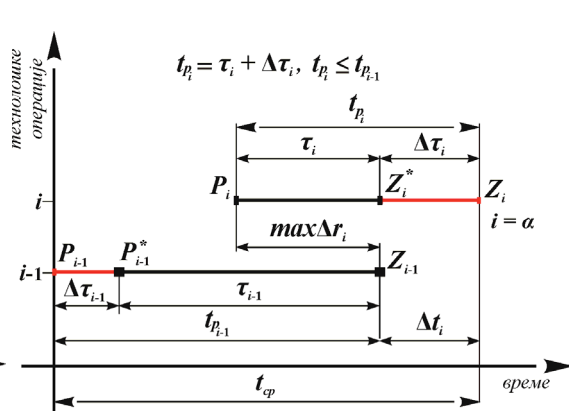
Пројектоване вредности  $t_{cp}$  циклуса  $PF$ -а зависе од циклуса операција  $\tau_i$ , пројектованих парцијалних губитака по операцијама  $\Delta\tau_i$  и односа између циклуса суседних операција:  $t_{p_i} > t_{p_{i-1}} \vee t_{p_i} \leq t_{p_{i-1}}$ . Пројектовани губици  $g_{cp}$  треба да амортизују могући утицај природних процеса  $t_{pp}$  и међуоперацијских губитака  $t_{mo}$  на трајање циклуса  $t_{cp}$   $PF$ -е.

**Први модел пројектовања** циклуса  $t_{cp}$   $PF$ -е заснива се на циклусима  $TO$   $t_{p_i}$ , који су увећани за износ парцијалних губитака  $\Delta\tau_i$ , и комбинованом начину организације тока редоследа операција, релација (211), слике 54 и 55.

$$t_{p_i} = \tau_i + \Delta\tau_i, \Delta\tau_i = t_{pp_i} + t_{mo_i}, t_{pp} = \sum_{i=1}^n t_{pp_i}, t_{mo} = \sum_{i=1}^n t_{mo_i}, g_{cp} = t_{pp} + t_{mo} = \sum_{i=1}^n \Delta\tau_i \quad (211)$$



Слика 54: Однос  $PC$ -а  $TO$ -а:  $t_{p_i} > t_{p_{i-1}}$



Слика 55: Однос  $PC$ -а  $TO$ -а:  $t_{p_i} \leq t_{p_{i-1}}$

У зависности од планираних вредности трајања производње ( $t_{p_i}, t_{p_{i-1}}$ ) суседних операција ( $i-1, i$ ) пројектовани губици  $\Delta\tau_i$  имају различито тумачење:

- Ако је  $t_{p_i} > t_{p_{i-1}}$  (слика 54) парцијални губитак  $\Delta\tau_i$  дефинише тренутак када може најраније да започне производња на  $i$ -тој технолошкој операцији у односу на почетак производње на претходној ( $i-1$ ) операцији, при чему процес производње на обе операције треба да се одвија по пројектованим терминима ( $\tau_i, \tau_{i-1}$ ),
- Ако је  $t_{p_i} \leq t_{p_{i-1}}$  (слика 55) парцијални губитак  $\Delta\tau_i$  дефинише тренутак када може најкасније да се заврши производни процес на  $i$ -тој технолошкој операцији у односу на најкаснији завршетак производње на претходној ( $i-1$ )



операцији, при чему процес производње на обе операције такође треба да се одвија по пројектованој динамици  $(\tau_i, \tau_{i-1})$ .

Термини почетка производње код операција са дужим трајањем померају се у лево односно, термини завршетка краћих операција у десно за вредности парцијалних губитка  $\Delta\tau_i$ . На тај начин се омогућава флексибилност са аспекта реализације планираних рокова у процесу производње јер се терминирање заснива на најранијим почецима и најкаснијим завршецима.

Укупни губици а тиме и парцијални, по операцијама, су стохастичког карактера тако да их је тешко предвидети и тачно дефинисати њихово трајање. Ако се за трајање парцијалног губитка  $\Delta\tau_i$  усвоји просечна вредност  $\Delta\tau$  [122, 190, 191], сходно релацији (212), тада је могуће успоставити функционалне зависности између пројектоване вредности циклуса  $PF$ -е  $t_{cp}$ , са једне стране, од парцијалних губитака  $\Delta\tau_i$  и пројектованих циклуса  $\tau_i$  операција, са друге стране (217).

$$\Delta\tau = \Delta\tau_i = \Delta\tau_{i-1} \mid i = \overline{2, n}, \Delta\tau = f(g_{cp}) \wedge g_{cp} < g_{cs} \Rightarrow \Delta\tau = \frac{g_{cp}}{n} \quad (212)$$

$$t_{p_{i-1}} : t_{p_i} \mid i = \overline{2, n} \Rightarrow t_{p_i} > t_{p_{i-1}} \text{ (slika 54)} \vee t_{p_i} \leq t_{p_{i-1}} \text{ (slika 55)}$$

$$B = \left\{ \left( t_{p_i}, t_{p_{i-1}} \right) \mid i = \overline{2, n} \right\} = \left\{ \left( t_{p_2}, t_{p_1} \right), \left( t_{p_3}, t_{p_2} \right), \dots, \left( t_{p_i}, t_{p_{i-1}} \right), \dots, \left( t_{p_n}, t_{p_{n-1}} \right) \right\} \wedge$$

$$\text{slika 54, } C = \left\{ \left( t_{p_i}, t_{p_{i-1}} \right) \mid i = \overline{2, n} \wedge t_{p_i} > t_{p_{i-1}} \right\} \wedge$$

$$\text{slika 55, } D = \left\{ \left( t_{p_i}, t_{p_{i-1}} \right) \mid i = \overline{2, n} \wedge t_{p_i} \leq t_{p_{i-1}} \right\} \Rightarrow$$

$$(B \setminus C = D \wedge B \setminus D = C) \Rightarrow C \neq D, (C \subset B \wedge D \subset B \wedge C \neq D) \Rightarrow B = C \cup D$$

$$(B = C \cup D \wedge C \neq D) \Rightarrow |B| = n - 1 \wedge |C| = k \wedge |D| = j \Rightarrow n - 1 = k + j \quad (213)$$

$$\text{slika 54} \wedge \text{slika 55, } (i - 1, i) \Rightarrow t_{cp} = t_{p_{i-1}} + \Delta t_i = \tau_{i-1} + \Delta\tau_{i-1} + \Delta t_i \quad (214)$$

$$t_{p_i} > t_{p_{i-1}} \Rightarrow \Delta t_i = t_{p_i} - t_{p_{i-1}} = \tau_i + \Delta\tau_i - (\tau_{i-1} + \Delta\tau_{i-1}) \vee t_{p_i} \leq t_{p_{i-1}} \Rightarrow \Delta t_i = \Delta\tau_i \quad (215)$$

$$(212) \wedge (215) \Rightarrow \Delta t_i = \Delta\tau_i \cdot (1 - E_i) + (\tau_i - \tau_{i-1}) \cdot E_i,$$

$$(\tau_i > \tau_{i-1}) \mid i = \overline{2, n} \Rightarrow E_i = 1 \wedge (\tau_i \leq \tau_{i-1}) \mid i = \overline{2, n} \Rightarrow E_i = 0 \quad (216)$$

$$(212) \wedge (214) \wedge (216) \Rightarrow t_{cp} = \tau_1 + \Delta\tau + \sum_{i=2}^n \Delta t_i = \tau_1 + \Delta\tau + \sum_{i=2}^n \Delta\tau_i \cdot (1 - E_i) + \sum_{i=2}^n (\tau_i - \tau_{i-1}) \cdot E_i,$$

$$t_{cp} = \tau_1 + \Delta\tau + \sum_{i=2}^n \Delta\tau_i - \sum_{i=2}^n \Delta\tau_i \cdot E_i + \sum_{i=2}^n (\tau_i - \tau_{i-1}) \cdot E_i = \tau_1 + \Delta\tau + (n-1) \cdot \Delta\tau - k \cdot \Delta\tau + \sum_p^k (\tau_p - \tau_{p-1}),$$

$$t_{cp} = \tau_1 + (n-k) \cdot \Delta\tau + \sum_p^k (\tau_p - \tau_{p-1}) \vee$$

$$t_{cp} = \tau_1 + (j+1) \cdot \Delta\tau + \sum_p^k (\tau_p - \tau_{p-1}), p = i \left| \left( i = \overline{2, n} \wedge \tau_i > \tau_{i-1} \right) \right. \quad (217)$$

У циљу квалитетнијег и реалнијег терминирања производње, слике 54 и 55, потребно је израчунати временске резерве између технолошких операција  $\Delta r_i$ .

Временска резерва  $\Delta r_i$  између две суседне  $TO$ -е ( $i-1, i$ ) подразумева време које тече између завршетка производње на претходној ( $i-1$ ) и почетка производње на наредној ( $i$ ) операцији. У зависности од тренутка када се планира реализација наведених догађаја временска резерва може бити позитивна, негативна или једнака нули. Уколико је резерва негативна ( $\Delta r_i < 0$ ) тада постоји преклапање у процесу производње између  $i$ -те и претходне ( $i-1$ ) операције. То значи да је процес производње на текућој операцији започео пре него што је завршена производња на претходној. У случајевима када је  $\Delta r_i \geq 0$  не долази до преклапања.

Ако са процес производње реализује по 1. моделу, слике 54 и 55, терминирање производње на нивоу  $TO$ -а и  $PF$ -а извршиће се помоћу релација (218) - (225). Временске резерве између  $TO$ -а израчунаће се помоћу формула (222) и (223). Уколико су испуњени услови дефинисани релацијом (224) тада је временска резерва између  $TO$ -а негативна, што значи да постоји преклапање у процесу производње између суседних операција ( $i-1, i$ ). Релацијом (225) прописани су услови када се процес производње између суседних операција одвија без преклапања. Флексибилни рокови почетака и завршетака производње технолошких операција условљени су пројектованом величином парцијалног губитка  $\Delta\tau$  који је укључен у трајање  $TO$ -а. Временске резерве  $\Delta r_i$  су случајне величине, које зависе од пројектованог трајања ( $\tau_i, \tau_{i-1}$ ) операција ( $i-1, i$ ) и губитака  $\Delta\tau$ , које се крећу између екстремних вредности, релације (222) и (223).

$$t_{p_i} = \tau_i + \Delta\tau_i \wedge \Delta\tau = \Delta\tau_i \left| i = \overline{1, n}, i = 1 \Rightarrow P_1 = 0 \wedge Z_1 = t_{p_1} = \tau_1 + \Delta\tau \quad (218)$$

$$slika 54 : t_{p_i} > t_{p_{i-1}} \left| i = \overline{2, n} \Rightarrow P_i = P_{i-1} \wedge Z_i = P_i + t_{p_i} \quad (219)$$

$$slika 55 : t_{p_i} \leq t_{p_{i-1}} \left| i = \overline{2, n} \Rightarrow Z_i = Z_{i-1} + \Delta\tau \wedge P_i = Z_i - t_{p_i} \quad (220)$$

$$(217) \Rightarrow Z_i = \tau_1 + (i-k) \cdot \Delta\tau + \sum_p^k (\tau_p - \tau_{p-1}) \vee i = \overline{2, n} \wedge i = p \left| \tau_i > \tau_{i-1} \wedge p \in \overline{2, i} \quad (221)$$

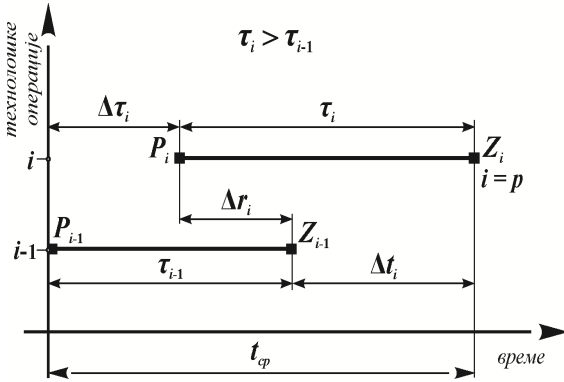
$$\begin{aligned} \text{slika 54: } t_{p_i} > t_{p_{i-1}} \Big| i = \overline{2, n} \Rightarrow \Delta r_i = P_i^* - Z_{i-1}^*, \quad P_i^* = P_i + \Delta \tau, \quad Z_i^* = Z_i - \Delta \tau, \\ \tau_{i-1} - \Delta \tau \leq \Delta r_i < \tau_{i-1} \Big| i = \overline{2, n}, \quad i = 1 \Rightarrow \Delta r_1 = 0 \end{aligned} \quad (222)$$

$$\text{slika 55: } t_{p_i} \leq t_{p_{i-1}} \Big| i = \overline{2, n} \Rightarrow \Delta r_i = P_i - Z_{i-1}, \quad \tau_i - 2 \cdot \Delta \tau \leq \Delta r_i < \tau_i \Big| i = \overline{2, n} \quad (223)$$

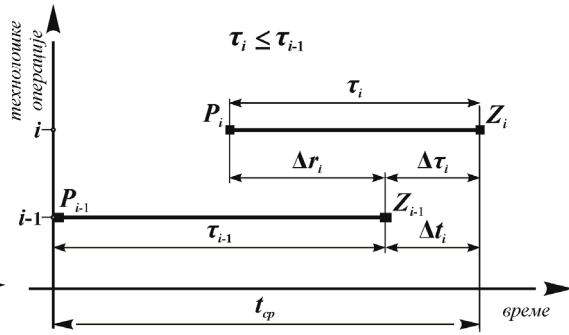
$$(\tau_{p_i} > \tau_{p_{i-1}} \wedge \Delta \tau < \tau_{i-1}) \vee (\tau_{p_i} \leq \tau_{p_{i-1}} \wedge \Delta \tau < \tau_i) \Rightarrow P_i < Z_{i-1} \Rightarrow \Delta r_i < 0 \Big| i = \overline{2, n} \quad (224)$$

$$(\tau_{p_i} > \tau_{p_{i-1}} \wedge \Delta \tau \geq \tau_{i-1}) \vee (\tau_{p_i} \leq \tau_{p_{i-1}} \wedge \Delta \tau \geq \tau_i) \Rightarrow P_i \geq Z_{i-1} \Rightarrow \Delta r_i \geq 0 \Big| i = \overline{2, n} \quad (225)$$

Други модел пројектовања циклуса  $t_{cp}$  PF-е полази од претпоставке [8] да су парцијални губици  $\Delta \tau_i$  расподељени између технолошких операција  $(i-1, i)$ , слике 56 и 57, релација (226). У овом случају пројектовано трајање циклуса PF-е  $t_{cp}$ , рачуна се помоћу обрасца (230).



Слика 56: Однос PC-а TO-а:  $\tau_i > \tau_{i-1}$



Слика 57: Однос PC-а TO-а:  $\tau_i \leq \tau_{i-1}$

$$\Delta \tau = \Delta \tau_i \Big| i = \overline{2, n} \Rightarrow \Delta \tau = \frac{g_{cp}}{n-1} \vee g_{cp} = \Delta \tau \cdot (n-1), \quad g_{cp} < g_{cs} \quad (226)$$

$$\tau_{i-1} : \tau_i \Big| i = \overline{2, n} \Rightarrow \tau_i > \tau_{i-1} (\text{slika 56}) \vee \tau_i \leq \tau_{i-1} (\text{slika 57}),$$

$$\text{slika 56} \wedge \text{slika 57}, (i-1, i) \Rightarrow t_{cp} = \tau_{i-1} + \Delta t_i \quad (227)$$

$$\tau_i > \tau_{i-1} \Rightarrow \Delta t_i = (\tau_i + \Delta \tau_i) - \tau_{i-1} = \Delta \tau_i + (\tau_i - \tau_{i-1}) \vee \tau_i \leq \tau_{i-1} \Rightarrow \Delta t_i = \Delta \tau_i \quad (228)$$

$$(220) \Rightarrow \Delta t_i = \Delta \tau_i \cdot (1 - E_i) + [\Delta \tau_i + (\tau_i - \tau_{i-1})] \cdot E_i,$$

$$\Delta t_i = \Delta \tau_i - \Delta \tau_i \cdot E_i + \Delta \tau_i \cdot E_i + (\tau_i - \tau_{i-1}) \cdot E_i = \Delta \tau_i + (\tau_i - \tau_{i-1}) \cdot E_i$$

$$(\tau_i > \tau_{i-1}) \Big| i = \overline{2, n} \Rightarrow E_i = 1 \wedge (\tau_i \leq \tau_{i-1}) \Big| i = \overline{2, n} \Rightarrow E_i = 0 \quad (229)$$

$$(218) \wedge (219) \wedge (221) \Rightarrow t_{cp} = \tau_1 + \sum_{i=2}^n \Delta t_i = \tau_1 + \sum_{i=2}^n \Delta \tau_i + \sum_{i=2}^n (\tau_i - \tau_{i-1}) \cdot E_i \Rightarrow$$

$$t_{cp} = \tau_1 + (n-1) \cdot \Delta \tau + \sum_p^k (\tau_p - \tau_{p-1}), \quad p = i \Big| (i = \overline{2, n} \wedge \tau_i > \tau_{i-1}) \quad (230)$$

Пре лансирања  $RN$  и почетка производње потребно је дефинисати планиране датуме почетка и завршетка производње свих операција које су по технолошком поступку предвиђене за израду одговарајуће  $PF$ -е. Процес производње по 2. моделу заснива се на најкаснијим терминима почетка и завршетка, имајући у виду усвојене вредности парцијалних губитака  $\Delta\tau$  и пројектовано трајање циклуса  $\tau_i$ .

Приликом пројектовања циклуса преклапање између суседних операција је неминовно ако се  $PF$ -а налази на критичном путу и ако је значајна разлика у капацитету односно, у пројектованим временима ( $\tau_i$ ). Ако са  $P_i$  означимо тренутак почетка а са  $Z_i$  тренутак завршетка производње на  $i$ - тој операцији, слике 56 и 57, терминирање производње на нивоу  $TO$ -а и  $PF$ -а, по 2. моделу, извршиће се помоћу релација (231) - (234). Временска резерва између  $TO$ -а израчунаће се помоћу формуле (235). Уколико су испуњени услови дефинисани релацијом (236) тада је временска резерва између  $TO$ -а негативна, што значи да постоји преклапање у процесу производње између суседних операција ( $i-1, i$ ). Релацијом (237) прописани су услови да се процес производње одвија без преклапања.

$$i = \overline{1, n}, i = 1 \Rightarrow P_1 = 0 \wedge Z_1 = \tau_1 \wedge \Delta\tau_1 = 0, \forall i = \overline{2, n} \Rightarrow \Delta\tau_i = \Delta\tau > 0 \quad (231)$$

$$slika\ 56: \forall i > 1 \wedge \tau_i > \tau_{i-1} \Rightarrow P_i = P_{i-1} + \Delta\tau \wedge Z_i = P_i + \tau_i \quad (232)$$

$$slika\ 57: \forall i > 1 \wedge \tau_i \leq \tau_{i-1} \Rightarrow Z_i = Z_{i-1} + \Delta\tau \wedge P_i = Z_i - \tau_i \quad (233)$$

$$(221) \Rightarrow Z_i = \tau_1 + (i-1)\Delta\tau + \sum_p (\tau_p - \tau_{p-1}) \forall i = \overline{2, n} \wedge i = p | \tau_i > \tau_{i-1} \wedge p \in \overline{2, i} \quad (234)$$

$$(222) - (226) \Rightarrow \Delta r_i = P_i - Z_{i-1} | i > 1, i = 1 \Rightarrow \Delta r_1 = 0 \quad (235)$$

$$(\tau_i > \tau_{i-1} \wedge \Delta\tau < \tau_{i-1}) \vee (\tau_i \leq \tau_{i-1} \wedge \Delta\tau < \tau_i) \Rightarrow P_i < Z_{i-1} \Rightarrow \Delta r_i < 0 | i = \overline{2, n} \quad (236)$$

$$(\tau_i > \tau_{i-1} \wedge \Delta\tau \geq \tau_{i-1}) \vee (\tau_i \leq \tau_{i-1} \wedge \Delta\tau \geq \tau_i) \Rightarrow P_i \geq Z_{i-1} \Rightarrow \Delta r_i \geq 0 | i = \overline{2, n} \quad (237)$$

$$t = \sum_{i=1}^n \tau_i \wedge r = \sum_{i=2}^n \Delta r_i \Rightarrow t_{cp} = t + r \quad (238)$$

Пројектована вредност циклуса производње  $t_{cp}$ , укупна временска резерва  $r$  и укупно пројектовано време свих технолошких операција  $t$  за било коју  $PF$ -у по 2. моделу може се израчунати помоћу обрасца (238).

Уколико је  $\Delta\tau$  константа на трајање циклуса доминантно утиче планиран број радних смена у дану  $S_{d_i}$  и планиран број радних места  $r_i$ . Посматрано у том контексту ако пројектовани услови рада  $(S_{d_i}, r_i)$ , на нивоу технолошких операција, повећавају укупно време  $t$ , потребно за реализацију свих технолошких

операција, повећава се и планирано трајање циклуса  $t_{cp}$ , укупни планирани губици у циклусу  $g_{cp}$  и број операција код којих је планирано преклапање у процесу производње ( $\Delta r_i < 0$ ), при чему се укупна временска резерва  $r$  смањује. Међутим, уколико желимо да пројектовано трајање циклуса  $t_{cp}$  буде константа, без обзира на усвојене вредности променљивих које чине организациону компоненту, потребно је да укупни планирани губици у циклусу  $g_{cp}$  такође буду константни. У том случају променљиве организације утичу на параметре  $t$ ,  $r$  и  $\Delta\tau$ . Са повећањем укупног времена  $t$  потребног за реализацију технолошких операција  $i$  смањује се парцијални пројектован губитак  $\Delta\tau$  као и укупна планирана резерва  $r$  при чему се повећава број операција са негативном временском резервом ( $\Delta r_i < 0$ ).

У зависности од усвојених претпоставки, (212) или (226), пројектоване вредности циклуса  $PF$ -е  $t_{cp}$  могу се израчунати помоћу образаца (217) по 1. или (230) по 2. моделу, при чему су пројектоване вредности веће по другом.

За податке који су дефинисани релацијом (239) на сликама 58, 59 и 60 приказане су стварне ( $t_{cs}, g_{cs}$ ) и пројектоване вредности циклуса  $PF$ -е. Ако се при пројектовању циклуса  $PF$ -е не предвиде међуоперацијски застоји  $\Delta\tau = 0$ , већ само унутароперацијски, кроз пројектоване вредности  $\tau_i$  циклуса  $TO$ -а, пројектовани циклус  $PF$ -е износи 5 дана, релација (240), слика 58. Обзиром да је коришћен комбиновани начин организације тока редоследа технолошких операција, са максималним преклапањем између суседних операција, термини почетака односно завршетака суседних операција су незнатно померени.

$$i = \overline{1,6} \Rightarrow \tau = (\tau_i, i = \overline{1,6}) = (2,3,2,3,3,4) \wedge (t_{cs} = 17 \wedge g_{cs} = 12) \quad (239)$$

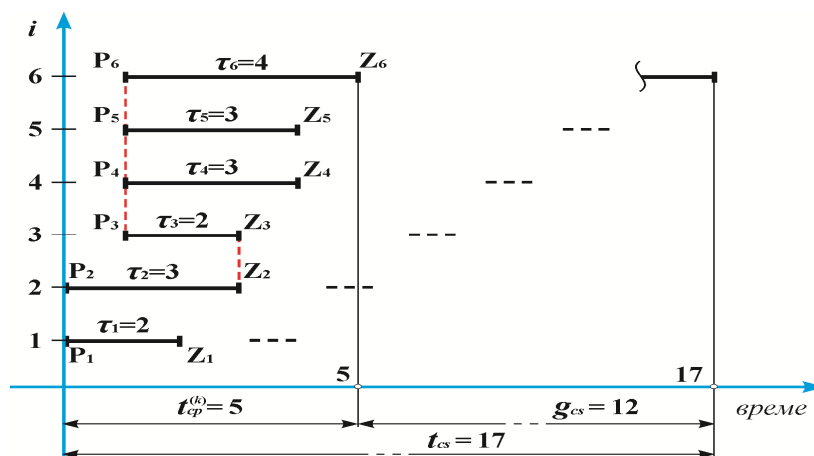
$$(g_{cp} = 0 \Rightarrow \Delta\tau = 0) \Rightarrow t_{cp} = t_{cp}^{(k)} = 5, \text{ слика 58} \quad (240)$$

На слици 59 приказане су пројектоване вредности циклуса  $PF$ -е по 1. моделу. Под претпоставком да је укупан пројектован међуоперацијски губитак идентичан оствареном  $g_{cp} = g_{cs}$  парцијални међуоперацијски губици износе 2 дана а циклус  $PF$ -е 11 дана, релација (241), слика 59.

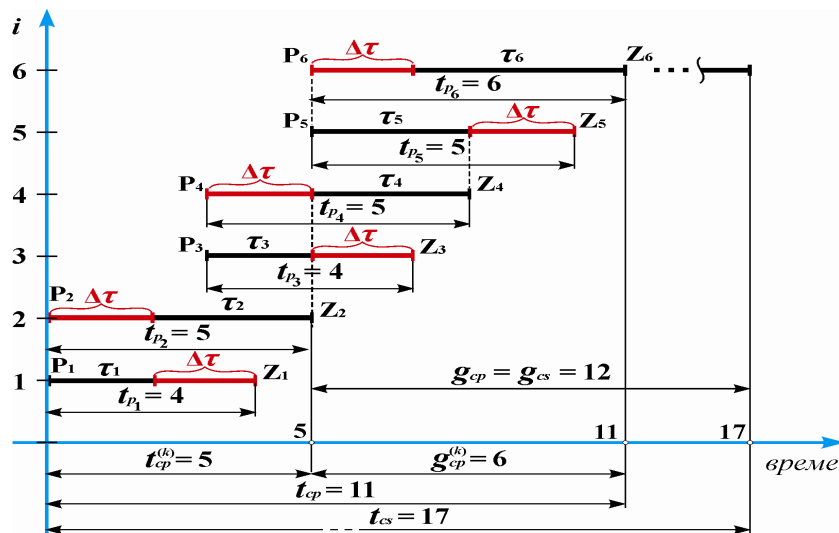
$$1. \text{ model: } g_{cp} = g_{cs} = 12 \Rightarrow \Delta\tau = \frac{g_{cp}}{n} = 2 \wedge t_{cp} = t_{cp}^{(k)} + g_{cp}^{(k)} = 11, g_{cp}^{(k)} = k \cdot \Delta\tau = 6, \text{ слика 59} \quad (241)$$

$$2. \text{ model: } g_{cp} = 10 \Rightarrow \Delta\tau = \frac{g_{cp}}{n-1} = 2 \wedge t_{cp} = t_{cp}^{(k)} + g_{cp} = 15, \text{ слика 60} \quad (242)$$

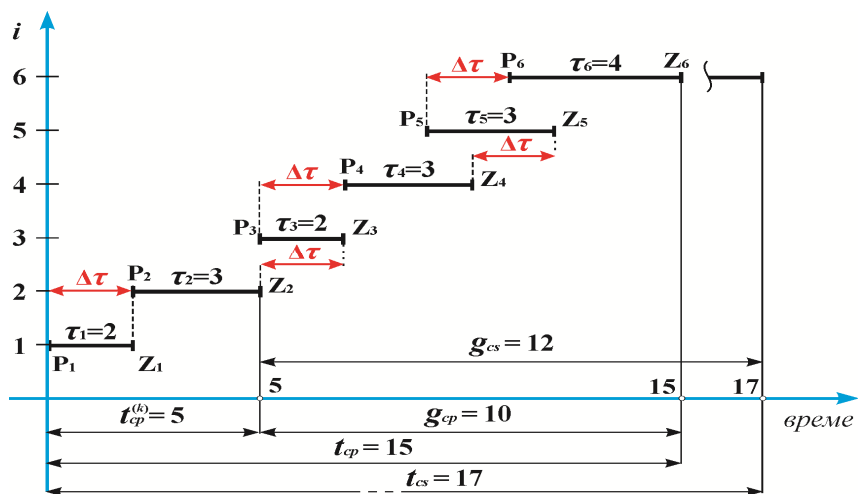
На слици 60, релација (242), приказане су пројектоване вредности циклуса  $PF$ -е по 2. моделу за вредности парцијалног међуоперацијског губитка  $\Delta\tau = 2$ .



Слика 58: Стварне и пројектоване вредности циклуса  $PF$ -е за  $\Delta\tau = 0$



Слика 59: Пројектоване вредности циклуса  $PF$ -е по 1. моделу за  $\Delta\tau = 2$

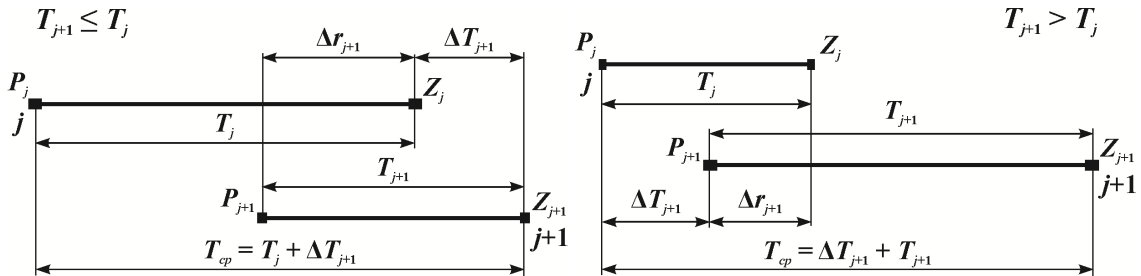


Слика 60: Пројектоване вредности циклуса  $PF$ -е по 2. моделу за  $\Delta\tau = 2$

### 3.6.2 Пројектовање временске димензије сложеног производа

Трајање ( $T_{cp}$ ) производног циклуса  $SP$ -а зависи од броја ( $N_{v,1}, v \in V^{(p)}$ ) и пројектованих времена ( $t_{cpj} \equiv T_j, j = \overline{1, N_{v,1}}$ )  $PF$ -а које се налазе на карактеристичним путевима ( $P_{v,1}, v \in V^{(p)}$ ) у графу  $SP$ -а, и усвојених међуфазних губитака ( $\Delta T_j, j = \overline{2, N_{v,1}}$ ). Међуфазни губици у циклусу настају због неусклађених термина почетака и завршетака производње у унутрашњим ( $u$ ) чворовима графа. То значи да више  $PF$ -а чека завршетак производње једне која лимитира даљи процес производње идући од почетних  $V^{(p)}$  ка завршном  $V^{(z)} = \{1\}$  чвору графа.

Ако се ради о независним  $PF$ -а тада међуфазни губитак не постоји а преклапање је максимално. Почети производње независних  $PF$ -а дефинисани су тако да обезбеђују завршетак производње у пројектованом року. Уколико су  $PF$ -е условљене односно, чине карактеристичан пут у графу, релација (34), тада се пројектује временска резерва ( $\Delta r_{j+1}$ ) у циљу смањења утицаја међуфазних губитака ( $\Delta T_{j+1}$ ) на трајање  $PC$ -а. Ако је  $\Delta r_{j+1} < 0$  тада постоји преклапање у процесу производње, слике 61 и 62.



Слика 61: Однос  $PC$ -а  $PF$ -а:  $T_{j+1} \leq T_j$

Слика 62: Однос  $PC$ -а  $PF$ -а:  $T_{j+1} > T_j$

Независне  $PF$ -е немају заједнички чвор у графу који описује структуру  $SP$ -а. Уколико  $PF$ -е имају заједнички унутрашњи чвор ( $u$ ) тада су оне дефинисане полустепеном улазећих грана  $d^-(u)$  и делимично су зависне јер могу да утичу на даљи процес производње  $SP$ -а. Зависне  $PF$ -е су суседне и имају заједнички унутрашњи чвор ( $u$ ), при чему, једна припада полустепену улазећих грана  $d^-(u)$ , релација (30), а друга полустепену излазећих грана  $d^+(u)$ , релација (31).

Полазећи од укупног броја  $PF$ -а, трајања њихових циклуса и могућих односа у графу, слике 61 и 62, релација (243), и усвојених међуфазних губитака, могуће је дефинисати трајање  $PC$ -а  $SP$ -а за све карактеристичне путеве у графу. Ако су пројектовани међуфазни губици константни користи се формула (244) а ако су различити (245). Формула (247) базирана је на тежинским функцијама  $w_j$   $PF$ -а, које су детерминисане њиховим трајањем и међусобним преклапањем (246). Под претпоставком да је временска резерва између зависних  $PF$ -а  $\Delta r_j = 0$  користи се формула (248).

$$(208) \wedge ((217) \vee (230)) \Rightarrow T_j \Big|_{(j = \overline{1, N_{v,1}} \wedge v \in V^{(p)})},$$

$$(213) \Rightarrow k, p = j \Big|_{(j = \overline{2, N_{v,1}} \wedge T_{j+1} > T_j)} \quad (243)$$

$$(243) \wedge \Delta T = \Delta T_j \Big|_{j = \overline{2, N_{v,1}} \wedge (230)} \Rightarrow$$

$$T_{cpv,1} = T_1 + (N_{v,1} - 1) \cdot \Delta T + \sum_p^k (T_p - T_{p-1}) \forall v \in V^{(p)} \quad (244)$$

$$(243) \wedge \Delta T_j \neq \Delta T_{j+1} \Big|_{j = \overline{2, N_{v,1}} \wedge (230)} \Rightarrow$$

$$T_{cpv,1} = T_1 + \sum_{j=2}^{N_{v,1}} \Delta T_j + \sum_p^k (T_p - T_{p-1}) \forall v \in V^{(p)} \quad (245)$$

$$\text{slike 61, 62} \wedge \Delta r_{j+1} = P_{j+1} - Z_j \forall j = \overline{1, N_{v,1} - 1}$$

$$(T_{j+1} > T_j \wedge 0 < \Delta T_{j+1} < T_j) \vee (T_{j+1} \leq T_j \wedge 0 < \Delta T_{j+1} < T_j) \Rightarrow \Delta r_{j+1} < 0$$

$$(T_{j+1} > T_j \wedge \Delta T_{j+1} \geq T_j) \vee (T_{j+1} \leq T_j \wedge \Delta T_{j+1} \geq T_{j+1}) \Rightarrow \Delta r_{j+1} \geq 0 \quad (246)$$

$$w_j = T_j + \Delta r_j \Big|_{j = \overline{1, N_{v,1}} \wedge \Delta r_1 = 0 \wedge (41)} \Rightarrow$$

$$T_{cpv,1} = \sum_{j=1}^{N_{v,1}} w_j = \sum_{j=1}^{N_{v,1}} (T_j + \Delta r_j) = T_1 + \sum_{j=2}^{N_{v,1}} (T_j + \Delta r_j) \forall v \in V^{(p)} \quad (247)$$

$$(247) \wedge \Delta r_j = 0 \Big|_{j = \overline{1, N_{v,1}}} \Rightarrow T_{cpv,1} = \sum_{j=1}^{N_{v,1}} T_j \forall v \in V^{(p)} \quad (248)$$

$$(244) \vee (245) \vee (247) \vee (248) \Rightarrow T_{cp} = \max_{v \in V^{(p)}} \{T_{cpv,1}\} \wedge V^{(z)} = \{1\} \quad (249)$$

Пројектовање циклуса  $SP$ -а заснива се на графу технолошке структуре, организацији процеса производње, која максимално уважава реалне услове у којима се одвијају репродукциони токови, и описаној методологији пројектовања, почев од  $TO$ -а, преко  $PF$ -а, па закључно са карактеристичним путевима у графу.



Уколико су испуњени напред наведени услови пројектовање *PC*-а *SP*-а могуће је реализовати на три начина.

Први начин се заснива на супротно оријентисаном графу, формулама (204) - (249) и анализи циклуса *PF*-а у оквиру карактеристичних путева у графу. Може се констатовати да *EPF*-е ( $j=1$ ) имају само једну тежину, док сложене имају више тежина у зависности од броја карактеристичних путева којима припадају, релација (250).

$$\Delta T_{j+1} > 0 \forall j = \overline{1, N_{v,1} - 1} \wedge v \in V^{(p)} \Rightarrow |w_j| = 1 |j = 1 \wedge |w_j| > 1 |j = \overline{2, N_{v,1}} \quad (250)$$

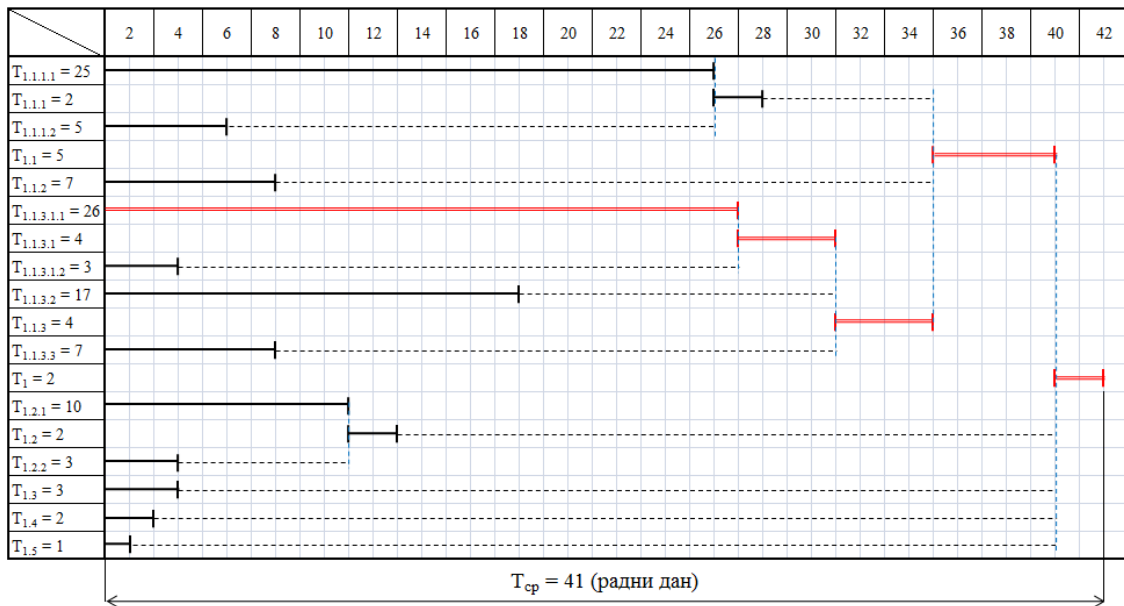
На пример *PF*-а  $x_1$  (завршна монтажа) учествује у дефинисању 12 карактеристичних путева а  $x_{11}$  у 7 и исто толико имају тежинских елемената, табела 15, релација (251). Вредности тежинских елемената зависе од усвојених и пројектованих параметара у оквиру карактеристичних путева графа који је супротно оријентисан, слика 24, од графа технолошке структуре *SP*-а, слика 17.

$$w(x_1) = \{1,1,2,1,1,1,1,1,1,1,1\} \Rightarrow |w(x_1)| = 12 \wedge w(x_{11}) = \{1,4,4,2,2,2,2\} \Rightarrow |w(x_{11})| = 7 \quad (251)$$

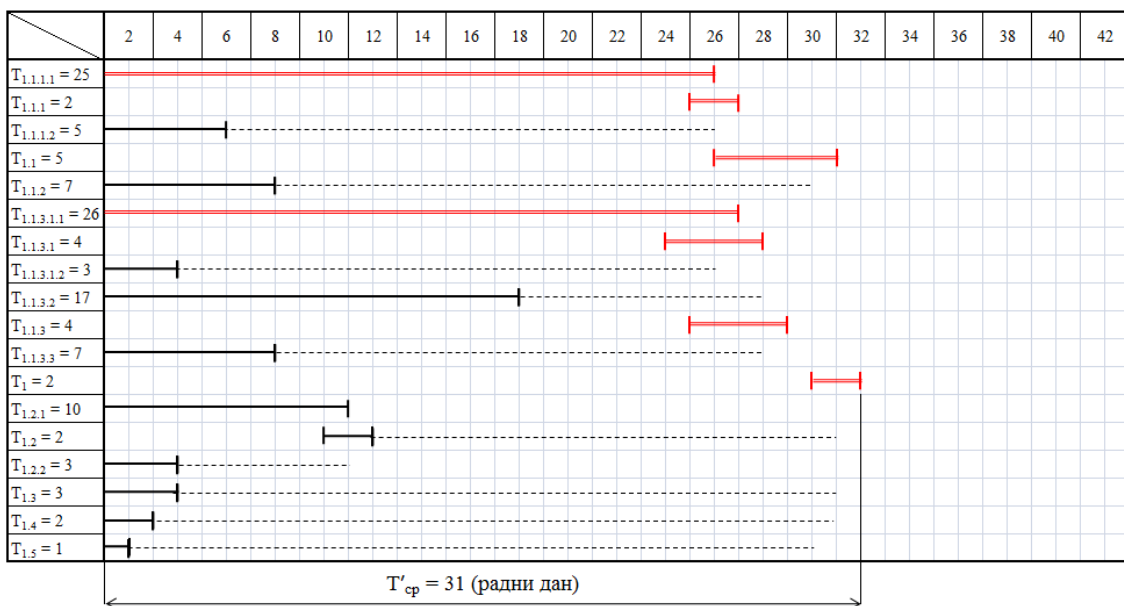
Табела 15: Тежински елементи  $w(x_{i,j,k...})$  производних фаза и пројектоване вредности циклуса у зависности од карактеристичног пута  $P_{v,1}$  у графу *SP*-а

$x_{i,j,k}$ $P_{v,1}$	$x_1$	$x_{1,1}$	$x_{1,2}$	$x_{1,3}$	$x_{1,4}$	$x_{1,5}$	$x_{1,1,1}$	$x_{1,1,2}$	$x_{1,1,3}$	$x_{1,2,1}$	$x_{1,2,2}$	$x_{1,1,1,1}$	$x_{1,1,1,2}$	$x_{1,1,1,3}$	$x_{1,1,3,2}$	$x_{1,1,3,3}$	$x_{1,1,3,1,1}$	$x_{1,1,3,1,2}$	$T_{cp}$
$P_{5,1}$	1			3															4
$P_{6,1}$	1				2														3
$P_{7,1}$	2					1													3
$P_{9,1}$	1	1						7											9
$P_{11,1}$	1		1						10										12
$P_{12,1}$	1		1							3									5
$P_{13,1}$	<b>1</b>	<b>4</b>					<b>1</b>					<b>25</b>							<b>31</b>
$P_{14,1}$	1	4					1						5						11
$P_{16,1}$	1	2							1						17				21
$P_{17,1}$	1	2							1							7			11
$P_{18,1}$	<b>1</b>	<b>2</b>							<b>1</b>					<b>1</b>			<b>26</b>		<b>31</b>
$P_{19,1}$	1	2							1					2				3	9

Други начин се заснива на процесу трансформације графа технолошке структуре *SP*-а (слике 17, 20, 21 и 22) у гантове дијаграме (слике 63, 64, 65, 66) и примени одговарајућих софтверских решења, за управљање производним процесима, базираних на овој методологији. Гантови дијаграми (гантограми) су најчешће коришћена техника за пројектовање *PC*-а и утврђивање критичних (најдужих) путева у графу *SP*-а и одговарајућих временских резерви. Основу за цртање гантових дијаграма представља скуп *PF*-а растављених у унутрашњим чворовима неоријентисаног графа (слика 22).

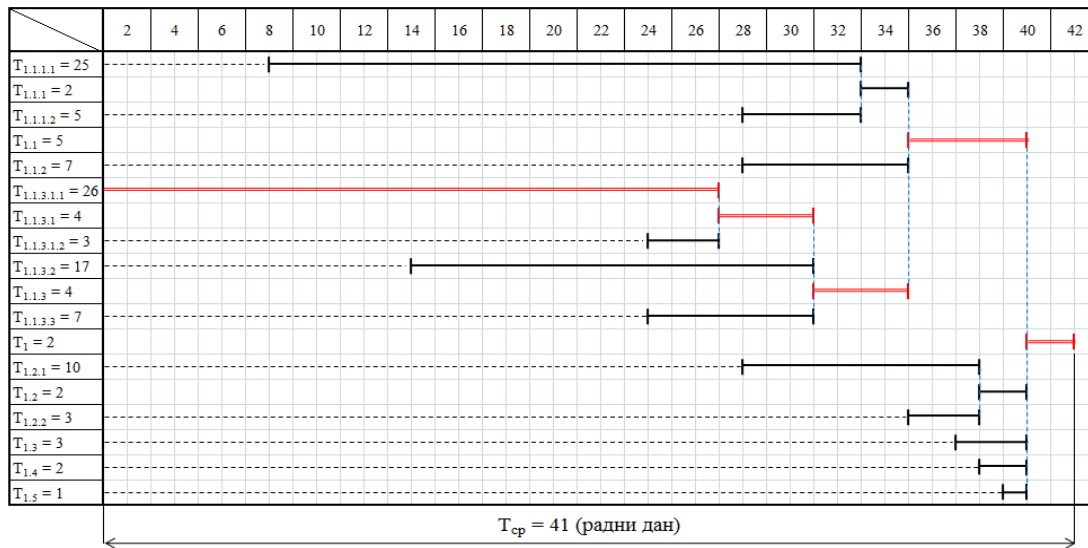


Слика 63: Гантов дијаграм без преклапања *PF*-а (најранији почетак)

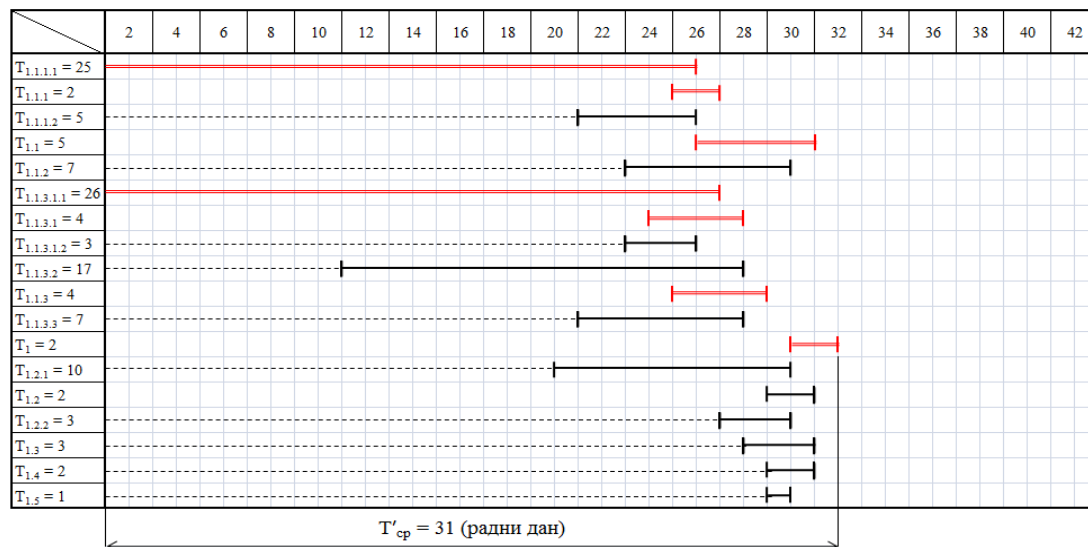


Слика 64: Гантов дијаграм са преклапањем *PF*-а (најранији почетак)

Уколико је потребно *PF*-е и временске резерве приказати у најранијем (нултом) почетку тада се прво цртају елементарне *PF*-е односно, *PF*-е чији почеци припадају скупу почетних чворова. Остале *PF*-е се цртају, са лева на десно, не реметећи односе из неоријентисаног графа *SP*-а водећи рачуна о тежинским функцијама и терминима почетака производње. На слици 63 и 64 приказани су гантови дијаграми *SP*-а у најранијем почетку, без и са преклапањем *PF*-а.



Слика 65: Гантов дијаграм без преклапања *PF*-а (најкаснији почетак)



Слика 66: Гантов дијаграм са преклапањем *PF*-а (најкаснији почетак)

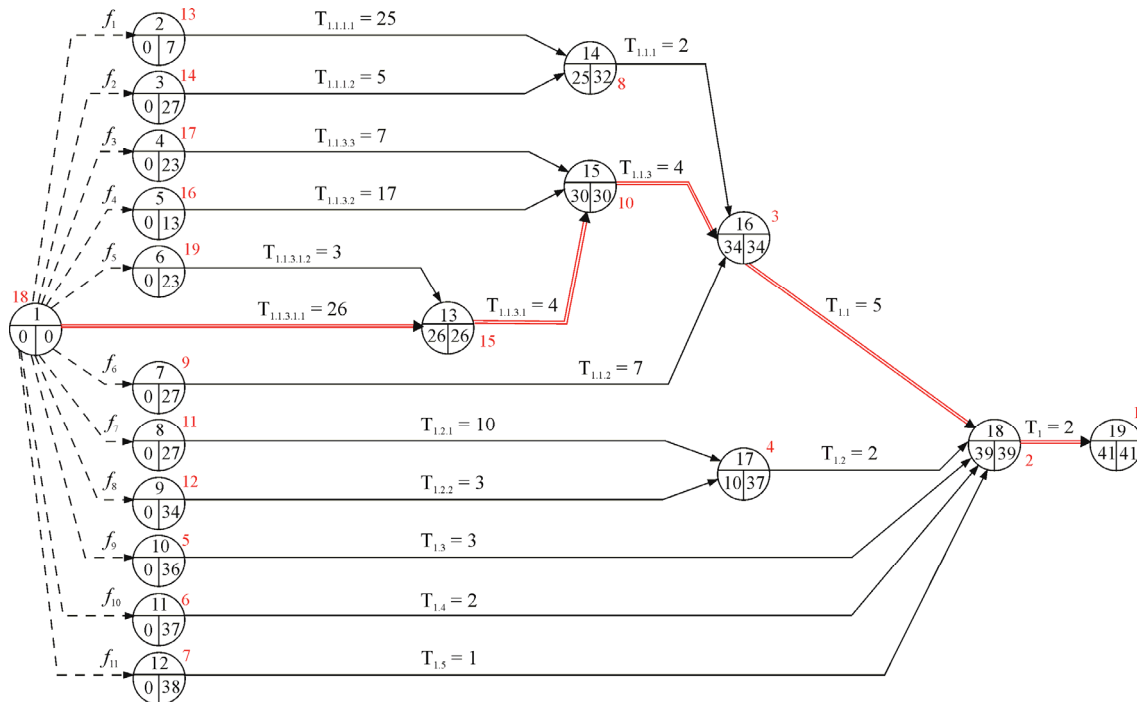
Уколико је потребно *PF*-е приказати у најкаснијем почетку, слике 65 и 66, тада се прво уцртају критичне *PF*-е а затим остале, са десна у лево, водећи рачуна о њиховом положају, тежинским функцијама и тренуцима завршетака производње. Временске резерве у гантовим дијаграмима приказане су испрекиданим линијама. На сликама 63 и 64 приказани су термини најранијих почетака и завршетака, а на сликама 65 и 66 термини најкаснијих почетака и завршетака. На трајање циклуса *SP*-а и критичан пут не утиче начин приказивања *PF*-а. На ове елементе утичу пројектована времена и усвојене вредности међуфазних губитака тако да је могуће постојање више критичних путева као што је приказано на сликама 64 и 66. Уколико не постоји преклапање у процесу производње, између зависних *PF*-а,

слике 63 и 65, пројектовани циклус  $SP$ -а износи 41 радни дан и постоји само један критичан пут. Уколико је пројектовано преклапање у процесу производње, слике 64 и 66, тада је циклус краћи и износи 31 радни дан при чему постоје два критична пута.

Трећи начин пројектовања  $PC$ -а  $SP$ -а заснива се на процесу трансформације супротно оријентисаног графа технолошке структуре у мрежу (слике 24-27) и примени техника мрежног планирања ( $TMP$ ) као што су: метода критичног пута  $CPM$  (*Critical Path Method*), техника за оцену и ревизију пројекта  $PERT$  (*Project Evaluation and Review Technique*) и  $PDM$  (*Precedence Diagramming Method*).

Граф у облику мреже који је приказан на слици 27 може се искористити за примену  $CPM$  и  $PERT$  технике, јер се чворови графа могу трансформисати у догађаје а гране графа у активности. Ако су испуњени услови из релације (252) односно, временска резерва  $\Delta r_{j+1} = 0$  тада се могу користити методе  $CPM$  и  $PERT$  за пројектовање  $PC$ -а  $SP$ -а јер су тежине производних фаза идентичне са његовим трајањем, слика 67.

$$\Delta T_{j+1} > 0 \wedge (\Delta T_{j+1} = T_j | (j = \overline{1, N_{v,1} - 1} \wedge T_j < T_{j+1} \wedge v \in V^{(p)}) \Rightarrow \Delta r_{j+1} = 0) \wedge (\Delta T_{j+1} = T_{j+1} | (j = \overline{1, N_{v,1} - 1} \wedge T_j \geq T_{j+1} \wedge v \in V^{(p)}) \Rightarrow \Delta r_{j+1} = 0) \quad (252)$$



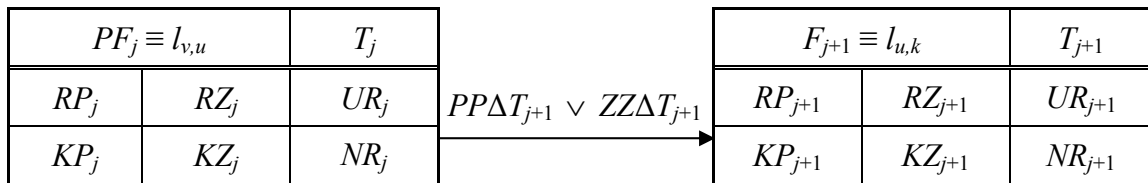
Слика 67: Примена  $CPM$ -а за пројектовање  $PC$ -а  $SP$ -а за вредности  $\Delta r_{j+1} = 0$

Уколико су испуњени услови из релације (253) могуће је користити *CPM* и *PERT* методу за пројектовање *PC*-а *SP*-а и утврђивање критичних производних фаза базирајући се на мрежи са слике 27. Међутим, временске резерве се не могу користити за управљање производним процесима јер су засноване на тежинским елементима уместо на пројектованом трајању *PF*-а. У случају када постоји преклапање између *PF*-а ( $\Delta r_{j+1} < 0$ ), релација (254), тада је отежано коришћење мреже са слике 27 јер захтева модификацију полазног графа са слике 27.

$$\Delta T_{j+1} > 0 \wedge \left( \Delta T_{j+1} > T_j \left| \left( j = \overline{1, N_{v,1} - 1} \wedge T_j < T_{j+1} \wedge v \in V^{(p)} \right) \Rightarrow \Delta r_{j+1} > 0 \right. \right) \wedge \left( \Delta T_{j+1} > T_{j+1} \left| \left( j = \overline{1, N_{v,1} - 1} \wedge T_j \geq T_{j+1} \wedge v \in V^{(p)} \right) \Rightarrow \Delta r_{j+1} > 0 \right. \right) \quad (253)$$

$$\Delta T_{j+1} > 0 \wedge \left( \Delta T_{j+1} < T_j \left| \left( j = \overline{1, N_{v,1} - 1} \wedge T_j < T_{j+1} \wedge v \in V^{(p)} \right) \Rightarrow \Delta r_{j+1} < 0 \right. \right) \wedge \left( \Delta T_{j+1} < T_{j+1} \left| \left( j = \overline{1, N_{v,1} - 1} \wedge T_j \geq T_{j+1} \wedge v \in V^{(p)} \right) \Rightarrow \Delta r_{j+1} < 0 \right. \right) \quad (254)$$

*PDM* отклања један од главних недостатака метода *CPM* и *PERT* који се огледа у немогућности или отежаном начину примене, [169, 200], у условима дефинисаним релацијама (253) и (254). Елементи мрежног дијаграма заснованог на *PD* техници планирања приказани су на слици 68.



Слика 68: Елементи мрежног дијаграма заснованог на *PD* техници планирања

Ознаке:  $PF_{j+1}, l_{u,k}$  – посматрана ( $j+1$ ) активност (*PF*-а) на карактеристичном путу графа *SP*-а;  $PF_j, l_{v,u}$  – претходна ( $j$ ) активност (*PF*-а) на карактеристичном путу графа *SP*-а;  $T_{j+1}, T_j$  – трајање посматране и претходне активности;  $RP_{j+1}, RP_j$  – најранији почеци посматране ( $j+1$ ) и претходне ( $j$ ) активности;  $RZ_{j+1}, RZ_j$  – најранији завршеци посматране ( $j+1$ ) и претходне ( $j$ ) активности;  $KP_{j+1}, KP_j$  – најкаснији почеци посматране ( $j+1$ ) и претходне ( $j$ ) активности;  $KZ_{j+1}, KZ_j$  – најкаснији завршеци посматране ( $j+1$ ) и претходне ( $j$ ) активности;  $UR_{j+1}, UR_j$  – укупне временске резерве;  $NR_{j+1}, NR_j$  – независне временске резерве;  $PP\Delta T_{j+1}$  – тип везе који условљава почетак посматране активности ( $j+1$ ) у односу на почетак претходне ( $j$ ), за вредност  $\Delta T_{j+1}$  (слика 62);  $ZZ\Delta T_{j+1}$  – тип везе који дефинише

завршетак посматране активности у односу на завршетак претходне, за вредност  $\Delta T_{j+1}$  (слика 61).

Алгоритам за цртање и прорачун мреже  $SP$ -а у  $PD$  техници:

1. На основу супротно оријентисаног графа технолошке структуре  $SP$ -а (слика 24), карактеристичних путева у графу и одговарајућих временских резерви  $\Delta r_{j+1}$  (слике 61 и 62) потребно је формирати матрицу условљености производних фаза (табела 16). Тип везе, у зависности од трајања суседних  $PF$ -а и усвојене (пројектоване) вредности међуфазних губитака  $\Delta T_{j+1}$ , описан је помоћу релације (255).

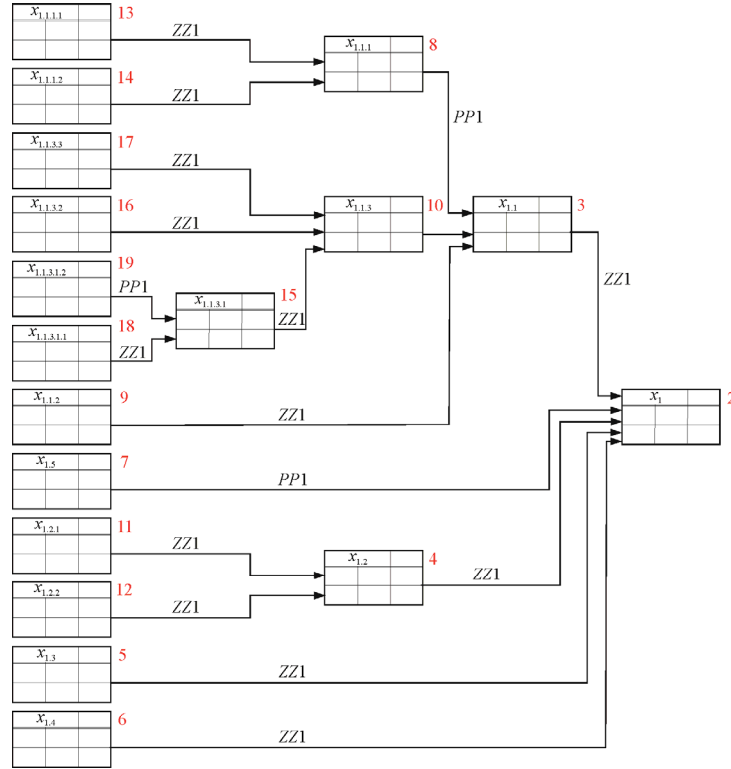
$$\left( (P_{v,1} \wedge N_{v,1}) \Rightarrow j = \overline{1, N_{v,1}} \mid v \in V^{(p)} \right) \wedge T_{j+1} > T_j \Rightarrow PP\Delta T_{j+1} \vee$$

$$\left( (P_{v,1} \wedge N_{v,1}) \Rightarrow j = \overline{1, N_{v,1}} \mid v \in V^{(p)} \right) \wedge T_{j+1} \leq T_j \Rightarrow ZZ\Delta T_{j+1} \quad (255)$$

Табела 16: Матрица условљености производних фаза сложеног производа

		Посматрана активност ( $j+1$ )																			
		$x_{1.1.3.1.1}$	$x_{1.1.3.1.2}$	$x_{1.1.1.1}$	$x_{1.1.1.2}$	$x_{1.1.3.1}$	$x_{1.1.3.2}$	$x_{1.1.3.3}$	$x_{1.1.1}$	$x_{1.1.2}$	$x_{1.1.3}$	$x_{1.2.1}$	$x_{1.2.2}$	$x_{1.1}$	$x_{1.2}$	$x_{1.3}$	$x_{1.4}$		$x_{1.5}$	$x_1$	
Претходна активност ( $j$ )	$x_{1.1.3.1.1}$	-				ZZ1													26		
	$x_{1.1.3.1.2}$		-			PP1													3		
	$x_{1.1.1.1}$			-				ZZ1											25		
	$x_{1.1.1.2}$				-			ZZ1											5		
	$x_{1.1.3.1}$					-			ZZ1										4		
	$x_{1.1.3.2}$						-			ZZ1									17		
	$x_{1.1.3.3}$							-			ZZ1								7		
	$x_{1.1.1}$								-					PP1					2		
	$x_{1.1.2}$									-					ZZ1				7		
	$x_{1.1.3}$										-					PP1			4		
	$x_{1.2.1}$											-					ZZ1		10		
	$x_{1.2.2}$												-					ZZ1	3		
	$x_{1.1}$														-				ZZ1	5	
	$x_{1.2}$															-			ZZ1	2	
	$x_{1.3}$																-		ZZ1	3	
	$x_{1.4}$																	-	ZZ1	2	
	$x_{1.5}$																		-	PP1	1
	$x_1$																			-	2
		26	3	25	5	4	17	7	2	7	4	10	3	5	2	3	2	1	2		$T_j$

2. Формирати мрежу за примену  $PD$  технике (слика 69). Мрежа се формира на основу супротно оријентисаног графа  $SP$ -а (слика 26) на тај начин што се  $PF$ -е приказују као активности у облику правоугаоника не реметећи међусобне везе које су дефинисане помоћу чворова графа.
3. На основу формула (256)-(263) извршити одговарајуће прорачуне и попунити мрежни дијаграм (слике 70, 71 и 72).



Слика 69: Полазна мрежа за примену  $PD$  технике

Помоћу релације (256) дефинисани су најранији почечи и завршеци  $EPF$ -а, а помоћу релације (257) најранији почечи и завршеци  $SPF$ -а уколико посматрану  $PF$ -у условљава само једна претходна ( $d^-(u)=1$ ). Уколико посматрану  $PF$ -у условљава више  $PF$ -а ( $d^-(u)>1$ ) тада се најкаснији почечи и завршеци  $SPF$ -а дефинишу помоћу релације (258), слика 70.

$$PF_j \equiv l_{v,u} \left( v \in V^{(p)} \wedge u \in V^{(u)} \right) \Rightarrow (RP_j = 0 \wedge RZ_j = T_j) | j=1 \quad (256)$$

$$PF_j \equiv l_{u,k} \left( u \in V^{(u)} \wedge k \in \{V^{(u)} \cup V^{(z)}\} \right) \Rightarrow j \in \{2, N_{v,1} | v \in V^{(p)}\} \wedge d^-(u)=1 \Rightarrow$$

$$\left( RP_{j+1} = RP_j + \Delta T_{j+1} \wedge RZ_{j+1} = RP_{j+1} + T_{j+1} \right) | PP\Delta T_{j+1} \vee$$

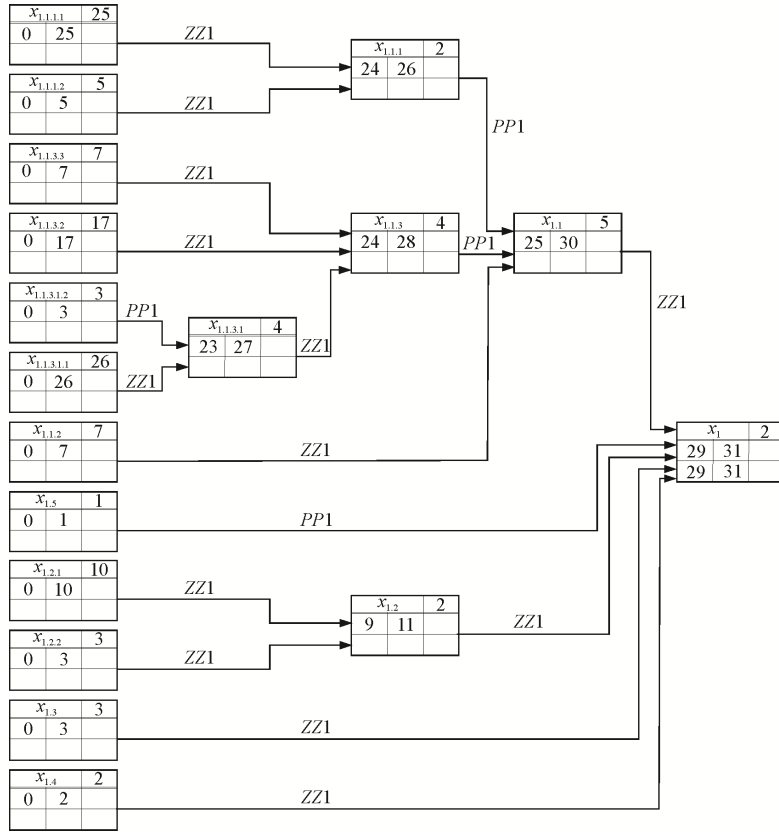
$$\left( RZ_{j+1} = RZ_j + \Delta T_{j+1} \wedge RP_{j+1} = RZ_{j+1} - T_{j+1} \right) | ZZ\Delta T_{j+1} \quad (257)$$

$$PF_j \equiv l_{u,k} \left( u \in V^{(u)} \wedge k \in \{V^{(u)} \cup V^{(z)}\} \right) \Rightarrow j \in \{2, N_{v,1} | v \in V^{(p)}\} \wedge d^-(u)>1 \Rightarrow$$

$$\left( \left( RP_{j+1}^{(1)} = \max_c \left\{ RP_j + \Delta T_{j+1} \right\} | c=1, d^-(u) \right) \wedge RZ_{j+1}^{(1)} = RP_{j+1}^{(1)} + T_{j+1} \right) | PP\Delta T_{j+1} \wedge$$

$$\left( RZ_{j+1}^{(2)} = \max_c \left\{ RZ_j + \Delta T_{j+1} \right\} | c=1, d^-(u) \right) \wedge RP_{j+1}^{(2)} = RZ_{j+1}^{(2)} - T_{j+1} \Big| ZZ\Delta T_{j+1} \Big) \Rightarrow$$

$$\left( RP_{j+1} = \max \{ RP_{j+1}^{(1)}, RP_{j+1}^{(2)} \} \wedge RZ_{j+1} = \max \{ RZ_{j+1}^{(1)}, RZ_{j+1}^{(2)} \} \right) \quad (258)$$



Слика 70: Мрежни дијаграм са најранијим почецима и завршецима  $PF$ -а  $SP$ -а

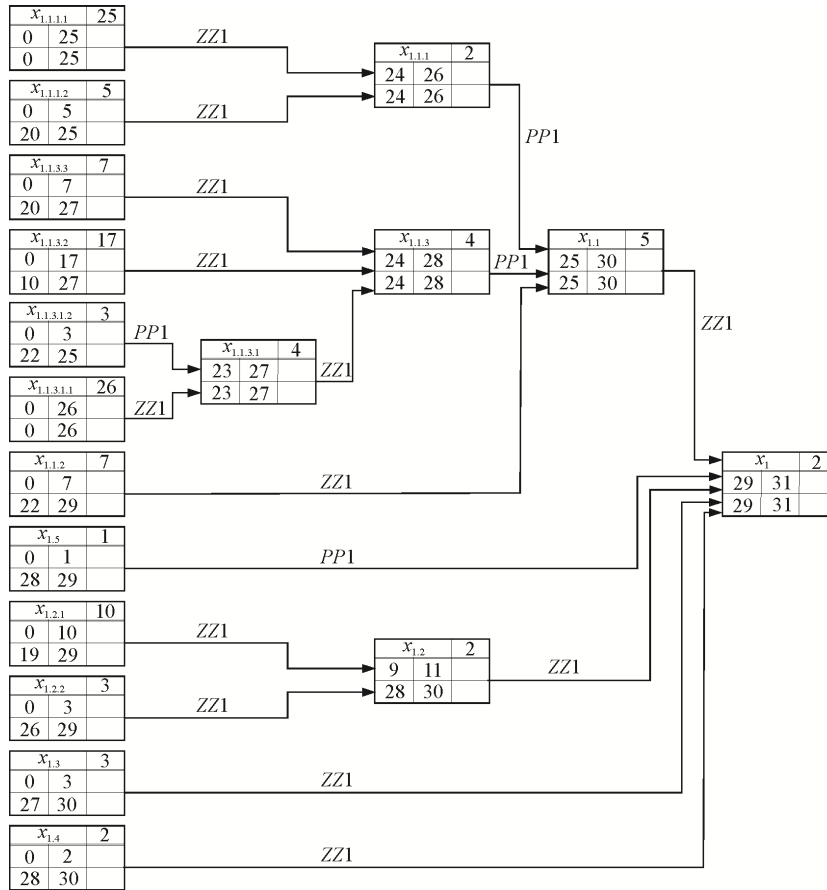
Најкаснији почетак и завршетак  $SPF$ -е која се налази на последњем нивоу ( $N_{v,1}$ ) дефинисани су помоћу релације (259). Најкаснији почечи и завршеци осталих  $PF$ -а дефинишу се помоћу релација (260) и (261), слика 71.

$$PF_{j+1} \equiv l_{u,1} \left( (u \in V^{(u)} \wedge \{1\} \in V^{(z)}) \Rightarrow j = N_{v,1} \wedge (KZ_{j+1} \equiv RZ_{j+1} \wedge KP_{j+1} \equiv RP_{j+1}) \right) | j = N_{v,1} \quad (259)$$

$$PF_{j+1} \equiv l_{u,k} \left( (u \in \{V^{(u)} \cup V^{(p)}\} \wedge k \in V^{(u)}) \Rightarrow j \in \{1, N_{v,1} - 1 | v \in V^{(p)}\} \wedge d^+(u) = 1 \Rightarrow \right. \\ \left. (KP_j = KP_{j+1} - \Delta T_{j+1} \wedge KZ_j = KP_j + T_j) \right) | PP\Delta T_{j+1} \vee \\ \left. (KZ_j = KZ_{j+1} - \Delta T_{j+1} \wedge KP_j = KZ_j - T_j) \right) | ZZ\Delta T_{j+1} \quad (260)$$

$$PF_{j+1} \equiv l_{u,k} \left( (u \in \{V^{(u)} \cup V^{(p)}\} \wedge k \in V^{(u)}) \Rightarrow j \in \{1, N_{v,1} - 1 | v \in V^{(p)}\} \wedge d^+(u) > 1 \Rightarrow \right. \\ \left. \left( (KP_j^{(1)} = \min_e \left\{ (KP_{j+1} - \Delta T_{j+1}) | e = 1, d^+(u) \right\} \wedge KZ_j^{(1)} = KP_j^{(1)} + T_j \right) \right) | PP\Delta T_{j+1} \wedge \\ \left. \left( KZ_j^{(2)} = \min_e \left\{ (KZ_{j+1} - \Delta T_{j+1}) | e = 1, d^+(u) \right\} \wedge KP_j^{(2)} = KZ_j^{(2)} - T_j \right) \right) | ZZ\Delta T_{j+1} \Rightarrow \\ \left. (KP_j = \min \{ KP_j^{(1)}, KP_j^{(2)} \} \wedge KZ_j = \min \{ KZ_j^{(1)}, KZ_j^{(2)} \}) \right) \quad (261)$$





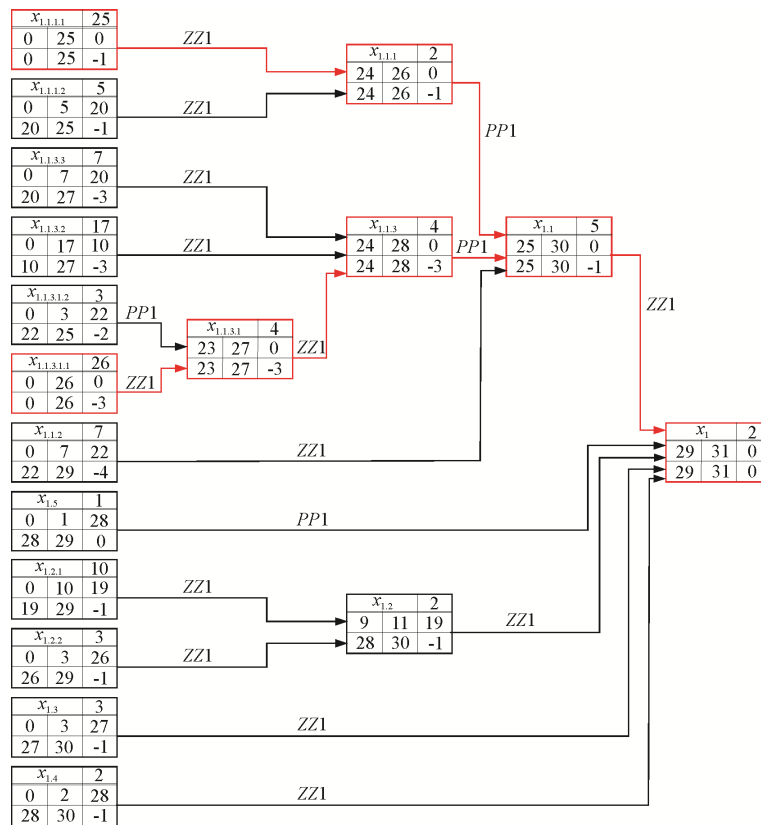
Слика 71: Мрежни дијаграм са најкаснијим почетцима и завршецима  $PF$ -а  $SP$ -а

Укупна временска резерва ( $UR$ ) узима ненегативне вредности и указује на максимално дозвољено померање у процесу производње, унапред или уназад. Ако је  $UR_j = 0$  тада је производна фаза  $PF_j$  критична. Прорачун се врши помоћу формуле (262) на основу најкаснијих и најранијих завршетака, слика 72.

Независна временска резерва ( $NR, \Delta r_{j+1}$ ) дефинише преклапање између суседних  $PF$ -а. Рачуна се помоћу формуле (263) при чему може да буде негативна, позитивна или нула. Уколико узима негативне вредности ( $NR_j < 0$ ) тада постоји преклапање између посматране ( $PF_{j+1}$ ) и претходне ( $PF_j$ ) производне фазе. Ако је  $NR_j = 0$  тада се завршетак производње претходне поклапа са почетком производње наредне  $PF$ -е. Ако је  $NR_j > 0$  тада постоји зазор између почетка производње посматране  $PF$ -е у односу на завршетак производње претходне, слика 72.

$$UR_j = KZ_j - RZ_j \mid j = \overline{1, N_{v,1}} \quad (262)$$

$$NR_j = KP_{j+1} - KZ_j \mid j = \overline{1, N_{v,1} - 1}, NR_j = 0 \mid j = N_{v,1} \quad (263)$$



Слика 72: Пројектовање PC-а SP-а коришћењем PDM -а

### 3.7 Ангажовање средстава у производном циклусу

Ангажовање средстава у процесу репродукције један је од најзначајнијих феномена у економској теорији и пракси коме је посвећено знатно мање пажње у односу на проблематику трошкова [203]. Процес ангажовања обухвата три фазе у којима се вредности налазе у природном облику: почетна робна (материјална), прелазна технолошка (производна) и завршна робна. Циклус започиње првом метаморфозом вредности из новчаног у материјални облик, а завршава се последњом метаморфозом завршног робног облика у новчани. Трајање овог циклуса може се поистоветити са временом ( $T_m$ ) тока материјала у најширем смислу те речи ( $R, BL, LM$ ).

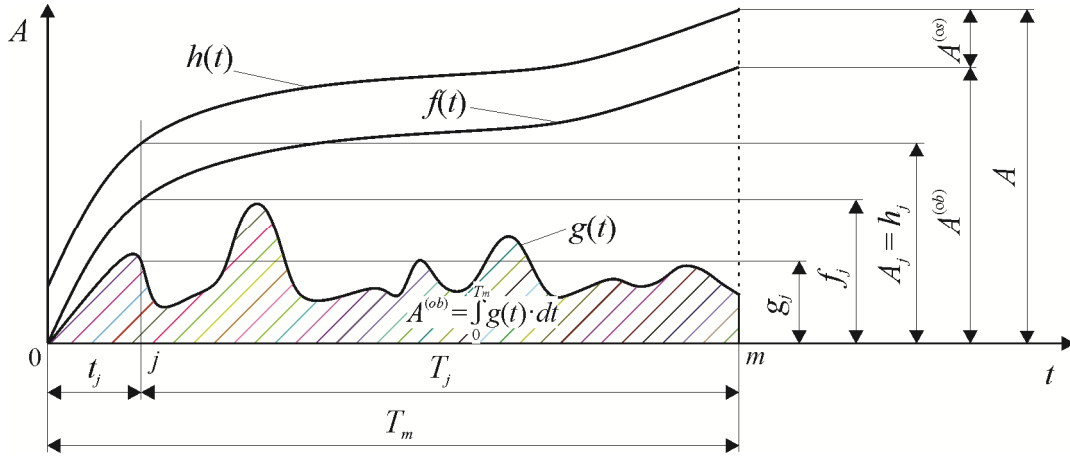
Ангажована средства ( $A$ ), основна и обртна, омогућавају нормално функционисање процеса производње и битно се разликују од трошкова. На пример, уложена средства у залихама су ангажована средства, а исти материјал садржан у вредности произведених и продатих артикала представља трошак. Обртна средства ( $A^{(ob)}$ ) се ангажују у облику: новчаних средстава, залиха

материјала, незавршене производње, готових производа и робе у комерцијалном промету. Основна средства  $A^{(os)}$  (земљиште, објекти, опрема, инфраструктура) и остала нематеријална улагања (патенти, лиценце, концесије, истраживање и развој) се амортизују, односно репродукују у дужем временском периоду који се протеже на више репродукционих циклуса и година.

Процес ангажовања средстава карактерише [166]: појединачне вредности и укупна сума, времена ангажовања и функције ангажовања. *Укупна сума* укључује сва потребна средства за реализацију производног задатка, без обзира да ли су она ангажована одједном или фазно кроз појединачна улагања. Увећање или умањење потребне суме може се одразити на економију пословања. Ако је ангажована сума већа за последицу има увећање трошкова производње а тиме и цене коштања производа. Уколико је пак сума мања, недостајућа средства могу успорити или потпуно онемогућити производни процес. Са позиције квалитета економије пословања поред укупне суме ангажованих средстава значајан је и *временски период ангажовања* те суме и појединачних вредности односно, реперне тачке блокирања и деблокирања средстава у циклусу. Ангажована средства имају и своју *функцију* (парцијалну, кумулативну - збирну) која је дефинисана тржишним потребама, начином рада, трајањем циклуса и потребом да се процес производње одвија у континуитету. Уколико је позната функција ангажовања средстава тада је истовремено позната укупна сума, период ангажовања те суме али и динамика ангажовања у процесу репродукције.

У временској динамици циклуса производње  $SP$ -а нивои утрошака и новчаних улагања могу бити различити. Уколико су улагања израз стварног стања, осликавају реално ангажовање, а ако су израз пројектованих величина, осликавају планирано ангажовање средстава. На слици 73 приказане су зависности ангажовања појединачних  $a_j$  и укупних  $A_j$  средстава у процесу репродукције који је омеђен реперним тачкама  $(o,m)$  циклуса. Функцијом  $g(t)$  описана су појединачна, а  $f(t)$  збирна (укупна) улагања обртних средстава. Ангажовање свих средстава, основних и обртних, у временском периоду  $T_m$  тока материјала дефинисано је функцијом  $h(t)$ . У  $j$ - том тренутку циклуса репродукције (слика 73) уложена су обртна средства у износу  $g_j$ , и суме обртних  $f_j$  и ангажованих  $A_j$

средстава у периоду  $t_j$ , релација (264). Збир свих ангажованих  $A$  и обртних  $A^{(ob)}$  средстава у репродукционом циклусу можемо израчунати помоћу формула (265).



Слика 73: Појединачно и збирно ангажовање средстава у циклусу ( $T_m$ )

$$slika\ 73 \Rightarrow j : a_j^{(ob)} \equiv g_j = g(t_j) \wedge A_j^{(ob)} \equiv f_j = f(t_j) = \sum_{i=1}^j a_i^{(ob)} = \int_0^{t_j} g(t) dt,$$

$$A_j \equiv h_j = h(t_j) = \sum_{i=1}^j A_i = \sum_{i=1}^j (A_i^{(os)} + A_i^{(ob)}) = A_j^{(os)} + A_j^{(ob)}, \quad T_j = T_m - t_j \quad (264)$$

$$A = A^{(os)} + A^{(ob)} = \sum_{j=1}^m A_j, \quad A^{(ob)} = f(T_m) = \sum_{j=1}^m A_j^{(ob)} = \int_0^{T_m} g(t) dt \quad (265)$$

Поред динамичког приказа, помоћу функција, ангажована средства у процесу производње често се испољавају и као просечна величина која не подразумева аритметичку средину између средстава уложених на почетку и на крају процеса производње. Просек, као квантитативни израз, динамички упросечава укупну масу парцијалних улагања узимајући у обзир временске периоде ( $T_j$ ) блокаде појединачних средстава и укупно трајање циклуса  $T_m$ , релација (266).

$$A_p = A_p^{(os)} + A_p^{(ob)}, \quad A_p^{(os)} = \frac{S^{(os)}}{T_m}, \quad A_p^{(ob)} = \frac{S^{(ob)}}{T_m}, \quad S^{(ob)} = \sum_{j=1}^m a_j^{(ob)} \cdot T_j = \int_0^{T_m} f(t) dt \quad (266)$$

Где је:  $A, A^{(os)}, A^{(ob)}$  - укупне суме ангажованих, основних и обртних средстава,  $A_p, A_p^{(os)}, A_p^{(ob)}$  - просечне масе ангажованих, основних и обртних средстава,  $a_j$  - појединачне масе ангажованих средстава,  $a_j^{(ob)}$  - појединачне вредности ангажованих обртних средстава,  $A_j$  - сума ангажованих средстава до  $j$ -тог

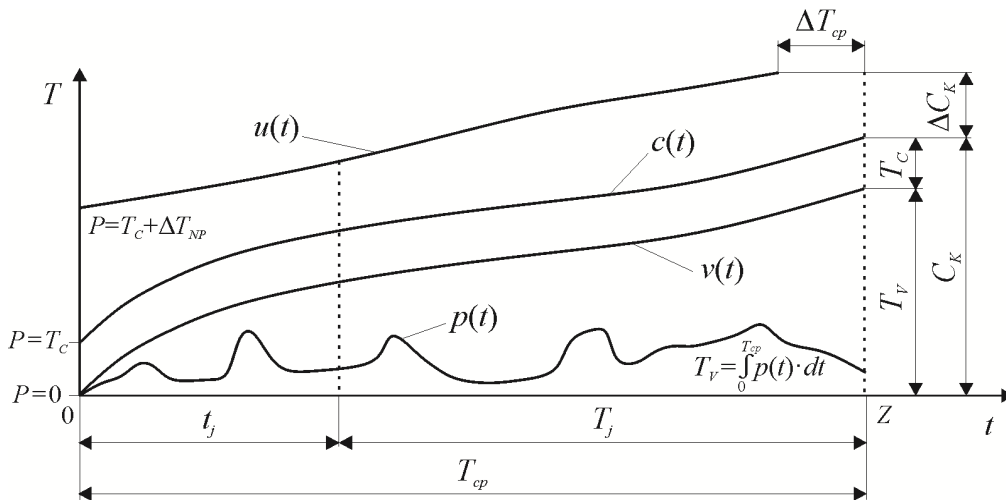
тренутка у репродукционом циклусу,  $T_j$ - периоди блокаде појединачних вредности ангажованих средстава,  $T_m$  - период за који се утврђује укупна сума и просечна маса ангажованих средстава,  $S^{(ob)}, S^{(os)}$  - укупне масе ангажованих обртних и основних средстава у процесу репродукције.

Укупна маса ангажованих вредности у основним и обртним средствима зависи од облика криве  $f(t)$ , односно од обима, динамике и периода везивања вредности у материјалном облику, тако да представља изазов за планере и производне менаџере који се баве пројектовањем и реализацијом процеса производње.

Квантитативни однос ангажовања и трошења може се изразити помоћу коефицијента ангажовања  $\beta$  ако просечну масу ангажованих средстава  $A_p$  у циклусу поделимо са количином производа  $Q$  или са просечним трошковима  $T_p$  производње, релација (267). Укупни коефицијент ангажовања средстава израчунава се за предузеће и за одговарајући временски период.

$$\beta = \frac{A_p}{Q} \vee \beta = \frac{A_p}{T_p} \equiv \frac{A_p}{C_{kp}} \Rightarrow A_p = \beta \cdot C_{kp} \quad (267)$$

Парцијални коефицијент ангажовања средстава, за серију  $SP$ -а, може се проценити на основу функционалних зависности укупних трошкова ( $c(t), u(t)$ ) од трајања  $PC$ -а ( $T_{cp}$ ), слика 74. Ако постоје залихе недовршене производње из претходног периода оне се вреднују по цени коштања ( $\Delta T_{NP}$ ) па је функција укупних трошкова дефинисана кривом  $u(t)$ .



Слика 74: Приказ трошкова у функцији од трајања  $PC$ -а  $SP$ -а ( $T_{cp}$ )

Обртна средства која се ангажују на нивоу  $i$ -те  $TO$ -е и  $j$ -те  $PF$ -е могу се израчунати помоћу формула (268) и (269). На основу пројектованог начина производње, трајања циклуса, норматива и вредности материјала и рада могуће је дефинисати функције (слика 74) појединачног  $p(t)$  и укупног  $v(t)$  ангажовања обртних средстава у  $PC$ -у  $SP$ -а, формуле (270) и (271). Обртна средства ангажована у процесу производње исказана су помоћу варијабилних трошкова.

$$i: t_{n_i} = t_{k_i} + \frac{T_{pzi}}{q_j} \wedge x_i = \frac{t_{n_i} \cdot (V_r + V_{ov})}{\tau_i} \Rightarrow a_i^{(v)} = x_i \cdot t \mid i = \overline{1, n_j} \wedge t \in [0, \tau_i] \quad (268)$$

$$j: t_{n_j} = \sum_{i=1}^{n_j} t_{n_i} \wedge x_j = \frac{t_{n_j} \cdot (V_r + V_{ov})}{T_j} \Rightarrow a_j^{(v)} = T_{m_j} + x_j \cdot t \mid t \in [0, T_j] \wedge j \in SP \quad (269)$$

$$SP: p(t) = f(a_j^{(v)}(t)) = \sum_t (\sum_j a_j^{(v)}(t)), \forall t \in [0, T_{cp}] \wedge j \in \{\overline{1, B_{pf}}\} \quad (270)$$

$$SP: v(t) = \int_0^t p(t) dt \forall t \in [0, T_{cp}] \quad A^{(v)} = T_v = \int_0^{T_{cp}} p(t) dt, \quad A_p^{(v)} = \frac{S^{(v)}}{T_{cp}} = \frac{\int_0^{T_{cp}} v(t) dt}{T_{cp}} \quad (271)$$

Где је:  $\tau_i, T_j, T_{cp}$  - пројектовано трајање циклуса  $TO$ -а,  $PF$ -а и  $SP$ -а у календарским данима,  $V_r, V_{ov}$  - просечни трошкови рада и остали варијабилни трошкови у производњи исказани преко вредности норма часа,  $t_{n_i}, t_{n_j}$  - временске норме  $TO$ -е и  $PF$ -е,  $T_{m_j}$  - укупни трошкови директног материјала  $j$ -те  $PF$ -е,  $a_i^{(v)}, a_j^{(v)}$  - функције ангажовања обртних средстава на нивоу  $TO$ -е и  $PF$ -е,  $x_i, x_j$  - просечан прираштај трошкова рада и осталих варијабилних трошкова на нивоу  $TO$ -е и  $PF$ -е по дану,  $A^{(v)}$  - планирана сума обртних средстава,  $S^{(v)}, A_p^{(v)}$  - укупна и просечна маса обртних средстава ангажована у  $PC$ -у  $SP$ -а.

Ангажовање обртних средстава на нивоу  $PF$ -а, релација (269), описано је линеарним функцијама. Грешка због линеаризације креће се према [186] у прихватљивим оквирима, до  $\pm 3\%$  када је у питању серијска производња односно, око  $\pm 5\%$  код појединачне производње. Пошто је у условима серијске производње углавном заступљен комбинован начин  $KPR$  са преклапањем производње цитиране податке треба проверити. Непосредно пред почетак производње, на првој  $TO$ -и, средства су ангажована у материјалу. Финансирање израде и осталих варијабилних трошкова пропорционално је трајању ( $T_j$ ) циклуса  $PF$ -а.

### 3.8 Показатељи проточности материјала у производном циклусу

Истраживање *PC*-а подразумева скуп активности које се односе на структуру циклуса, дефинисање модела за опис *SP*-а, планирање производње и оптимизацију производне серије, прорачун и пројектовање циклуса *TO*-а, *PF*-а и *SP*-а, припреме и лансирања производње, управљање производним активностима уз оптимално ангажовање обртних средстава, па до анализе и утврђивања квантитативних и квалитативних показатеља проточности. Из дефиниције *PC*-а (тачка 3.1.2) произилазе две кључне карактеристике које се односе на временску димензију (трајање) и финансијску димензију (обим и тренутак ангажовања обртних средстава). На обе димензије *PC*-а утиче сложеност производа и оптимална величина производне серије ( $x_o$ ), релација (272).

$$(32), (37), (59), (67) \wedge (116) \Rightarrow X = \{B_{pf}, B_k, N \equiv D(G), \Delta(G), x_o\} \quad (272)$$

Сложеност производа може се изразити помоћу укупног броја *PF*-а ( $B_{pf}$ ) и карактеристичних путева у графу ( $B_k$ ), дубине и ширине графа. Дубину графа дефинише укупан број нивоа  $N$ , односно дијаметар графа  $D(G)$ , а ширину највећи степен чвора у графу  $\Delta(G)$ .

Третман почетка и завршетка циклуса подразумева избор реперних тачака у оквиру којих тече време. Када се разматра трајање *TC*-а *SP*-а реперне тачке су прецизно дефинисане почетком производње првог комада из серије, на првој операцији *EPF*-е, и завршетком последњег комада из серије, на задњој технолошкој операцији *SPF*-е која се односи на завршну монтажу или паковање.

При прорачуну *TC*-а *SP*-а не узимају се у обзир губици у циклусу, тако да се технолошки циклус може поистоветити са идеалним *PC*-ом кога карактерише континуална производња без застоја и чекања. У зависности од начина *KPR* у процесу производње и других ограничења везаних за прорачун *TC*-а намећу се следећи показатељи проточности материјала: оптималне производне серије ( $q_i$ ) и партије ( $p_i$ ) делова, трајање ( $t_{ii}$ ) *TC*-а свих *PF*-а, критичан пут у графу ( $P_{k,1}$ ) и трајање *TC*-а *SP*-а ( $T_{t_{k,1}}$ ), релација (273).

$$(80), (167 - 177) \wedge (195 - 200) \Rightarrow T = \left\{ \left( q_i, p_i, t_{ii} \right) \middle| i = \overline{1, B_{pf}}, \left( P_{k,1}, T_{t_{k,1}} \right) \middle| k \in V^{(P)} \right\} \quad (273)$$

Може се закључити да је трајање технолошког циклуса ( $TC$ -а) краће од производног, за губитке у циклусу, који су условљени скупом нежељених стохастичких активности које изазивају застоје и чекања по разним основама.

Реперне тачке  $PC$ -а зависе од методе која се користи за прикупљање података о његовом трајању и ретко се поклапају са тачкама које детерминишу  $TC$ . Методе за прикупљање података о трајању  $PC$ -а могу се сврстати у три групе.

*Прва група метода* заснива се на анализи производне документације када је могуће утврдити термине почетка и крајње датуме завршетка процеса производње. Од документације најчешће се користе: документа радног налога (термин карте, требовања, радне листе, предајнице), документа техничке контроле и разни извештаји о стањима у процесу производње. За процесе који се ретко понављају, обављају се једном годишње или полугодишње, користи се планска документација и документа за набавку, пријем, складиштење и продају, у циљу оријентационог дефинисања реперних тачака циклуса. Уколико се користи термин карта ( $TK$ ) за планирање и управљање производним процесима  $SP$ -а тада се реперне тачке технолошког и производног циклуса поклапају. Због недостатака одговарајућих информација из производне документације често је немогуће прецизно утврдити реперне тачке  $PC$ -а, па се почетак производње везује за датум лансирања  $RN$ -а или за датум требовања одговарајућег инпута. Завршетак производње се обично везује за извештаје контроле тј. за датум завршног пријема серије, или за датум примопредаје предмета рада у одговарајуће складиште.

*Другу групу метода* чине методе засноване на мерењу трајања производног циклуса и његових саставних елемената. У зависности од дужине циклуса користи се метода хронометрисања, за краће, односно метода тренутних запажања ( $MTZ$ ), за дуже циклусе који се често понављају. Трајање циклуса мери се на репрезентативном узорку делова.

*Трећа група метода* базира се на процени укупног времена трајања циклуса. Ове методе користе се у случајевима када претходне две методе нису применљиве или када њихова примена изискује велики напор.

Показатељи проточности материјала који се заснивају на анализи  $PC$ -а обухватају: стварно трајање циклуса свих  $PF$ -а ( $t_{csi}$ ) и  $SP$ -а ( $T_{csj,1}$ ), кога



детерминише критичан пут  $P_{j,1}$ , затим, идентификацију најважнијих узрочника ( $\alpha = \overline{1, \omega}$ ) губитака производних капацитета и њихов утицај на губитке  $g_\alpha$  (274).

$$Analiza PC - a \Rightarrow S = \left\{ t_{csi} \mid i = \overline{1, B_{pf}}, (P_{j,1}, T_{cs_{j,1}}) \mid j \in V, (\alpha, g_\alpha) \mid \alpha = \overline{1, \omega} \right\} \quad (274)$$

Истраживање технолошких и производних циклуса је од изузетног значаја јер омогућава квантификацију и поређење идеалних и остварених величина. Посматрано у том контексту могу се дефинисати укупни губици ( $g_{csi}, G_{cs_{j,1}}$ ) и коефицијент протока ( $k_{ti}, K_t$ ) на нивоу  $PF$ -а и  $SP$ -а у целини, релација (275).

$$(273) \wedge (274) \Rightarrow G = \left\{ (g_{csi}, k_{ti}) \mid i = \overline{1, B_{pf}}, G_{cs_{j,1}} \mid j \in V, K_t \right\}$$

$$g_{csi} = t_{csi} - t_{ti} \wedge G_{cs_{j,1}} = T_{cs_{j,1}} - T_{t_{k,1}} \Rightarrow k_{ti} = \frac{t_{csi}}{t_{ti}} = 1 + \frac{g_{csi}}{t_{ti}} \wedge K_t = \frac{T_{cs_{j,1}}}{T_{t_{k,1}}} = 1 + \frac{G_{cs_{j,1}}}{T_{t_{k,1}}} \quad (275)$$

Разноврсни и комплексни услови у оквиру којих се одвијају процеси серијске производње  $SP$ -а захтевају интегрисан приступ при пројектовању циклуса са тежњом да се пројектоване вредности  $TO$ -а и  $PF$ -а максимално преклапају уз респектовање реалних услова и ограничења. То значи да губитке у циклусу, који су неминовност у процесу производње, треба смањити на прихватљив ниво кроз цикличне процесе пројектовања, са тежњом да се у потпуности елиминишу или сведу на оптималан ниво. Показатељи проточности материјала који се ослањају на пројектоване вредности циклуса су: планирани унутароперацијски и међуоперацијски губици ( $g_{cp_j}, \Delta \tau_i^{(j)}$ ), трајање циклуса  $TO$ -а ( $t_{pi}^{(j)}$ ), тежине ( $w_j$ ) и трајање циклуса  $PF$ -а ( $T_j$ ), планирани међуфазни губици ( $\Delta T_{j+1}$ ), критичан пут ( $P_{v,1}$ ) и трајање циклуса  $SP$ -а ( $T_{cp_{v,1}}$ ), релација (276).

$$P = \left\{ (g_{cp_j}, \Delta \tau_i^{(j)}, t_{pi}^{(j)}, T_j, w_j) \mid i = \overline{1, n_j} \wedge j = \overline{1, B_{pf}}, (\Delta T_{j+1}, T_{cp_{v,1}}, P_{v,1}) \mid j = \overline{1, N_{v,1} - 1} \wedge v \in V^{(p)} \right\}$$

$$\Delta \tau_i^{(j)} = \frac{g_{cp_j}}{n_j} \vee \frac{g_{cp_j}}{n_j - 1}, \quad \Delta T_{j+1} = c \vee \Delta T_{j+1} \neq c \quad (276)$$

Уколико се упореде пројектоване и остварене вредности циклуса добиће се реалнији показатељи проточности који се односе на губитке у циклусу ( $g_{cs_j}, G_{cs_{v,1}}$ ) и коефицијент протока ( $k_{p_j}, K_p$ ) који су настали као последица пројектованог начина производње, релација (277).

$$(274) \wedge (276) \wedge g_{cs_j} = t_{cs_j} - T_j \wedge G_{cs_{v,1}} = T_{cs_{v,1}} - T_{cp_{v,1}} \Rightarrow k_{pj} = \frac{t_{cs_j}}{T_j} \wedge K_p = \frac{T_{cs_{v,1}}}{T_{cp_{v,1}}},$$

$$G = \left\{ \left\{ g_{cs_j}, k_{pj} \right\} \mid j = \overline{1, B_{pf}}, G_{cs_{v,1}} \mid j \in V, K_p \right\} \quad (277)$$

Коефицијенти протока материјала  $K_t$  (275) и  $K_p$  (277) су квантитативни показатељи који показују колико је пута стварно трајање циклуса  $SP$ -а веће од технолошког, односно пројектованог. Уколико се реперне тачке циклуса, који се пореде, подударају и ако се користе разрађени теоријски модели оба коефицијента протока су већи од један. Посматрано из угла производног система већу употребну вредност има коефицијент протока  $K_p$  јер се остварене вредности пореде са пројектованим (планираним). Међутим, у циљу поређења резултата са другим  $PPS$ -а, из региона и шире, предност треба дати коефицијенту протока  $K_t$ . Посматрано у том контексту изузетно је важно по којим се моделима врши прорачун  $TC$ -а на свим нивоима, почев од  $TO$ -е,  $PF$ -е па закључно са  $SP$ -ом. При прорачуну коефицијента протока мора да се у однос ставе упоредиве величине са аспекта пројектованог и стварног начина  $KPR$  у процесу производње.

Рационално пословање и оптимално ангажовање средстава не може се постићи само скраћењем времена тока материјала, односно  $PC$ -а  $SP$ -а. Потребно је тако пројектовати циклус производње да функције парцијалног  $p(t)$  и кумулативног  $v(t)$  ангажовања захтевају минималне масе укупних  $S^{(v)}$  и просечних  $A_p^{(v)}$  обртних средстава, релација (278).

$$(268) - (271) \Rightarrow \left\{ p(t), v(t), S^{(v)}, A_p^{(v)} \right\} \quad (278)$$

На основу теоријских разматрања и развијених модела може се констатовати да су релацијом (278) дефинисани најважнији квалитативни и квантитативни техно-економски показатељи проточности материјала у производном циклусу сложеног производа.

#### 4. ПРИМЕНА ТЕОРИЈСКИХ МОДЕЛА СА РЕЗУЛТАТИМА

Опсег истраживачког проблема обухвата проблематику процеса управљања производним циклусом сложеног производа у индустријским предузећима. Експериментални део истраживања реализован је у Компанији "Слобода" Чачак а.д. која представља један од индустријских првенаца Србије и војне индустрије бивше Југославије. Предузеће "Слобода" основано је 1948. године. Кроз дугу историју мењао се правни статус предузећа почев од Радне организације, преко СОУР-а (1978.), СДП-а (1989.), Холдинга (1992.) до Компаније (2004.), као акционарског друштва, са већинским државним капиталом.

У уводном делу овог поглавља даће се приказ најважнијих карактеристика Компаније Слобода, анализираће се постојећи производни програм и извршиће се избор производа репрезентаната. Верификација теоријских модела, развијених у трећем поглављу, засниваће се на оригиналној документацији *PPS*-а и постојећим токовима информација. Сложеност и обимност истраживања захтевају вишефазну реализацију експеримента и примену оригиналних софтверских решења.

##### 4.1 Карактеристике производње и избор производа репрезентанта

Компанија Слобода се бави производњом специјалних производа (област наоружања и војне опреме) коју карактерише низ специфичности. Пословање је регулисано посебним законским прописима при чему производни програм садржи преко 200 *SP*-а различите намене (бојеви, вежбовни, маневарски, школски), табела 17. Производњу детерминишу разноврсне технологије и опрема, кратки рокови испоруке, захтеви за модификацијом стандардних верзија производа, могућности набавке специфичних материјала и делова из кооперације, висок степен безбедности у току производње, манипулације, складиштења и при коришћењу средстава. У погледу просторног захвата, глобализација пословања се одвија у најширим, светским размерама. Највећи конкуренти Компаније на светском тржишту су: *Expal*-Шпанија, *Arcus*-Бугарска, *Poongsan*-Република Кореја, *ATK*-САД, *Bofors*-Шведска, *Norinco*-Кина. Предности Слободе огледају се у широком асортиману, добром квалитету, повољним ценама и могућности производње артикала без обзира на то да ли су оријентисани на оружане системе *NATO*-а или бившег Варшавског Уговора.

Табела 17: Производни програм са заступљеним технологијама, извор [34,99,123]

Р. б.	Производни програм	Заступљеност технологија (%)				
		Деф	Резање	Заштита	Пирот	Ост
1	2	3	4	5	6	7
1	ПА муниција калибра 20 мм и А муниција калибра 23 мм	3 - 16	15 - 38	5 - 12	21 - 34	1-7
2	ПА муниција калибра 30, 37, 40 и 57 мм и А муниција калибра 30 мм	7 - 18	20 - 37	3 - 13	18 - 33	
3	Тромблонске мине (бојеве, вежбовне осветљавајуће, димне) и рез. средства	0 - 17	19 - 61	1 - 10	12 - 38	
4	Ручна ракетна противоклопна средства калибра 64 – 120 мм	0 - 18	40 - 67	3 - 9	16 - 30	
5	Сигнална, осветљавајућа и противвгр. средства, ватромет	6 - 22	3 - 12	1 - 5	61 - 75	
6	Програм кооперације у оквиру одбрамбене индустрије (експлозивна пуњења, успорачи, трасери) и тржишне кооперације (производи и делови за потребе металопрерађив., дрвнопрер., електронске и петрохе. индустрије)	0 - 97	0 - 95	0 - 5	0 - 95	
7	Програм тенковске и артиљеријске муниције 76-155 мм	10 - 22	23 - 41	6 - 14	25 - 31	
Напомена: Преко 200 SP-а налази се у производним програму Компаније						

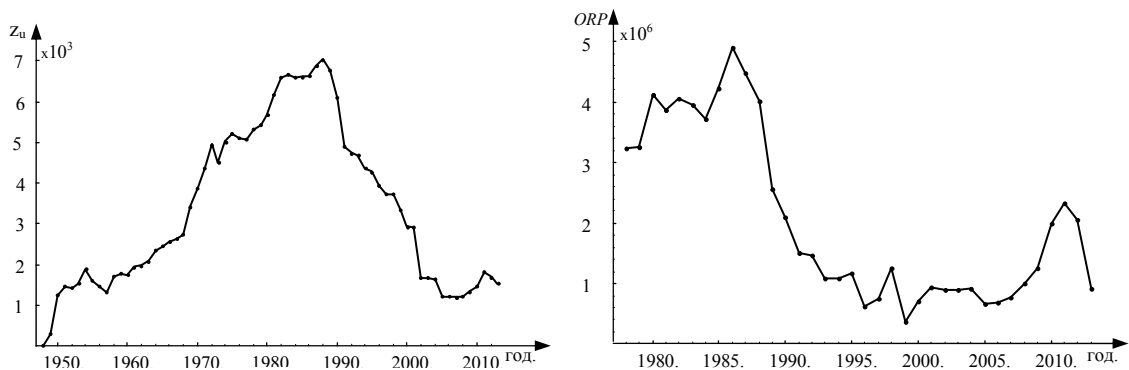
Осенчене површине, на слици 75, означавају заступљене параметре у процесу производње. Најкраће речено, Компанију карактерише серијска понављајућа производња са прекидним током технолошког процеса. Сложеност производа, мерена укупним бројем *PF*-а и нивоа уградње, креће се од мале до велике.

Тип производње	масовна	серијска			појединачна
		великосер.	средњесер.	малосер.	
	континуална	повнављајућа			
Ток технолош. процеса	непрекидан				
				прекидан	
Сложеност производа	мала	средња	велика		

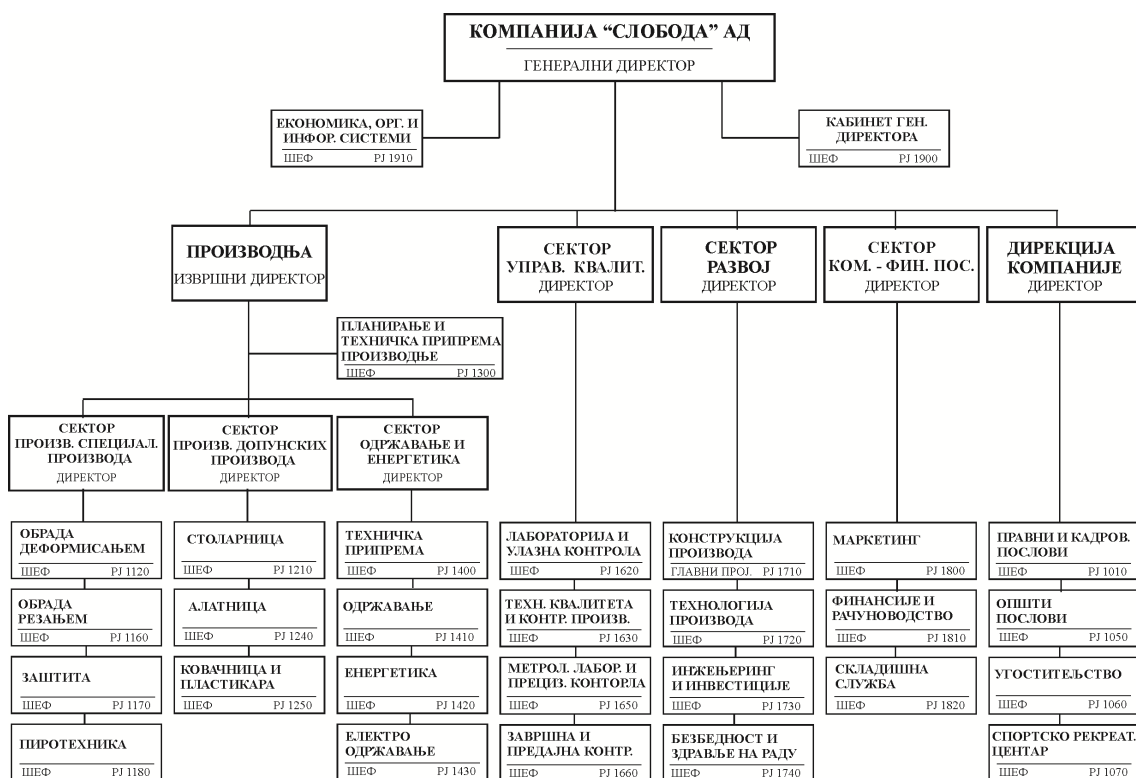
Слика 75: Сложеност производа, тип производње и ток технолошког процеса

Појединачна производња присутна је код израде специјалних алата и резервних делова за одржавање, а непрекидан технолошки процес у појединим сегментима израде и монтаже (лаборације).

Кретања запослених радника од 1948-2013. и робне производње од 1978-2013. године приказани су на сликама 76 и 77. Организациона структура Слободе, посматрано са функционалног и процесуалног аспекта, приказана је на слици 78.



Слика 76: Запослени радници 1948-2013. Слика 77: Обим производње 1978-2013.



Слика 78: Организациона структура Компаније "Слобода" Чачак

У периоду од 1978-1988. реализација робне производње креће се осцилаторно од 3.200.000-4.900.000 *нч/год* бележећи свој максимум у 1986. од 4.909.783 *нч*. Овај период за Компанију је од изузетног значаја јер су остварени надпросечни финансијски резултати. Од 1989-1999. године бележи се константан пад производње (2.500.000-350.000 *нч/год*) при чему се послује на ивици

рентабилитета или са губицима. Лоши пословни резултати последица су политичке и економске кризе у земљи. У првој декади 21. века реализација робне производње креће се у распону 650.000-2.300.000 *нч/god* бележећи свој максимум у 2011. години од 2.339.870 *нч*.

Техничко-технолошке карактеристике детерминисане су производним програмом, примењеним технологијама и расположивом опремом. У процесу производње заступљене су следеће технологије:

- *Обрада деформацијом*- хладно ковање, истискивање, смицање, пресовање, савијање, пробијање и просецање; дубоко извлачење са редукцијом и без редукције зида; ротационо истискивање делова конусног облика; израда опруга и ваљање навоја. За наведене врсте обрада користи се следећа опрема: механичке пресе 100-40.000 кN; хидрауличне пресе 250-2.500 кN; специјална вишестепена преса са пет станица и снагом од 6.300 кN; специјална машина за обртно истискивање; машине за ваљање навоја; машине за ковање, машине за савијање и брушење опруга.
- *Обрада резањем*- стругање, глодање, бушење, брушење, провлачење. За ове врсте обрада користе се: шестовретени аутомати (14-51 mm); једновретени аутомати са револвер главом; једновретени аутомати за уздужно стругање материјала; вишестаничне агрегатне машине; аутоматске бруснице за пролазно и профилно брушење; копир стругови; CNC машине; дорадне машине (стругови, глодалице, бушилице); машине за резање навоја.
- *Површинска заштита и термичка обрада*- кадмијумавање, цинковање, никловање, хроматизирање, калаисање, бакарисање, хоксалирање, анодна оксидација, пасивизација, бајцовање, фосфатирање, прање у алкохолу, прање у бензину, прање у детергенту, прање у води, зауљивање, наношење основног лака и боје; жарење, индукционо жарење, каљење, напуштање, старење. За обраду површинском заштитом користи се следећа опрема: линија за анодну оксидацију; линија за хроматизирање; линија за бакарисање и калаисање; линија за кадмијумавање и цинковање; линија за хроматизирање месинга; линија за електрополирање месинга; линија за хемијско никловање; линија за завршно фосфатирање; линија за

међуоперацијско и завршно бајцовање месинга; линија за цинковање чауре; линија за фосфатирање цинкованих делова; линија за међуоперацијско фосфатирање; линија за бајцовање челика; линија за бајцовање алуминијума; аутоматски уређај за бојење; коморна пећ за сушење боје; пролазна пећ за сушење боје; пролазне пећи са траком; пролазне пећи са корпама; коморне пећи; уређаји за индукционо жарење; соне купке; сушнице.

- *Израда пиротехничких смеша* (припалне, трасерне, успорачке, димне, осветљавајуће)- синтеза неорганских једињења; припрема пиротехничких компонената (мерење, просејавање и сушење); мешање (миксовање) пиротехничких компонената; сушење, просејавање и паковање пиротехничких смеша; фрагментација *Al*; сушење *Al*; хомогенизација и паковање експлозивно запаљивих смеша. За израду пиротехничких смеша користе се следеће машине и уређаји: електричне сушилице у специјалној изведби; млинови за млевање хлората, перхлората, нитрата, сулфата, јода итд.; вибрационе сејалице; уређаји за суву и влажну хомогенизацију; уређај за гранулисање пиротехничких смеша; водено купатило до 800С.
- *Прерада експлозива, експлозивно запаљивих и пиротехничких смеша*- директно пресовање експлозивног материјала у кошуљице пројектила, детонатора, успорача, трасера, временог кружића; пресовање експлозивних отпресака без металне или картонске облоге. Маchine и уређаји који се ангажују: хидрауличне пресе од 20-4.500 kN; пнеуматске пресе од 1-20 kN; полуаутоматске пресе са окретним столом и подешавањем силе 0,1-5 kN.
- *Сушење и прерада дрвета*- израда амбалаже. Опрема која се користи: сушаре за дрво; машине за равну обраду површина (абрихтер и дихт машине); машине за профилисање (четворостране рендисалке); машине за површинску обраду (бруснице хоризонталне и вертикалне); уређаји за склапање позиција (пнеуматски и хидраулични); машине за израду окова.

Предузеће располаже са издвојеним машинским парком за израду специјалних алата и контролника, одржавање опреме, ливење под притиском, контролу и мерење, и савременим полигоном за испитивање функционалних карактеристика. На основу процентуалне заступљености технологија обраде, табела 17, може се

закључити да доминантно место припада обради резањем, затим пиротехничким технологијама, обради деформацијом, површинској заштити итд.

Производи садрже до 150 делова од чега се 90% израђује у производним погонима Компаније. Мањи број делова уграђује се у више артикала, у оквиру припадајуће групе, лимитирајући циклус производње у зависности од приоритета. Већина машина има универзалну примену и флексибилност при реализацији *ТО*. То омогућава пројектовање вишеваријантних технолошких алтернатива чиме се отклањају "уска грла" у производњи.

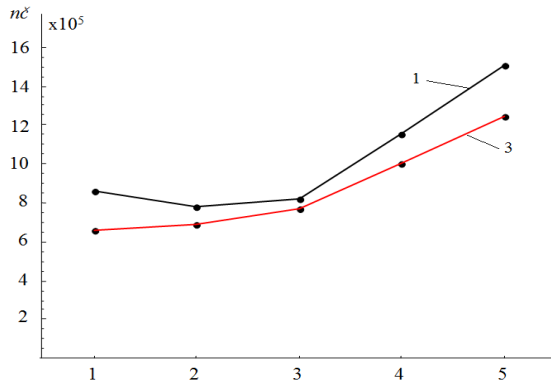
У табели 18 и сликама 79-86 приказано је кретање кључних показатеља пословања Компаније "Слобода" у периоду од пет година. На сликама 79-86 показатељи пословања имају ознаку редног броја или скраћеницу из табеле 18.

Табела 18: Показатељи пословања *PPS*-а у периоду од 2005-2009. године

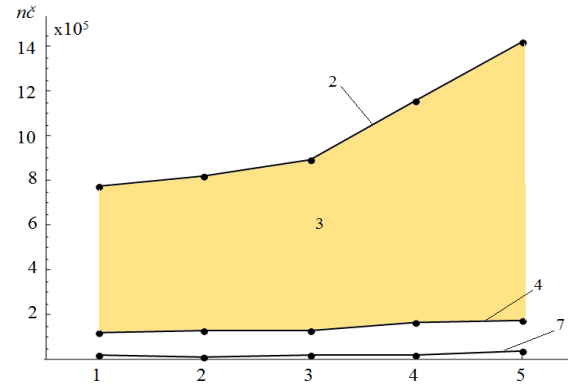
Р. б.	Показатељ	јм	Временски период (година)					
			2005.	2006.	2007.	2008.	2009.	
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>	
1	Планирана робна производња	<i>нч</i>	858.487	776.059	818.796	1.157.599	1.506.808	
2	Укупна реализована производња	<i>нч</i>	774.890	822.394	893.459	1.160.484	1.426.368	
3	Реализована робна производња	<i>нч</i>	657.077	693.760	765.718	998.553	1.248.995	
4	Недовршена производња	<i>нч</i>	117.813	128.634	127.741	161.931	177.373	
5	Учешће извоза (преко <i>нч</i> )	%	45	58	54	80	84	
6	Учешће извоза у факт. реализац.	%	72	71	54	80	80	
7	Остварен шкарт	<i>нч</i>	17.851	13.254	20.703	23.325	37.017	
8	Извршење норме по <i>RJ</i> -ма	%	103-127	101-126	102-125	107-124	110-124	
9	Извршење норме на нивоу <i>PPS</i> -а	%	118	121	121	120	120	
10	Могући часови рада	<i>нч</i>	3.071.204	2.732.510	2.757.807	2.819.425	3.216.941	
11	Остварени часови рада	<i>нч</i>	2.298.966	2.151.293	2.143.832	2.204.263	2.602.471	
12	Изгубљени часови рада	<i>нч</i>	772.238	581.217	613.975	615.162	614.470	
13	Прековремени часови рада	<i>нч</i>	101.058	185.498	215.027	346.972	433.271	
14	Укупни расходи	10 <sup>3</sup> дин	1.694.768	1.552.465	1.338.616	1.609.457	2.064.199	
15	Залихе материјала	10 <sup>3</sup> дин	430.919	595.649	615.747	652.335	797.014	
16	Залихе недовршене производње	10 <sup>3</sup> дин	262.457	299.643	302.383	321.280	467.694	
17	Залихе готових производа и робе	10 <sup>3</sup> дин	125.843	229.094	275.824	217.595	256.246	
18	Анализа трошкова (Парето-АБЦ)	ТЗ-конто 52	%	34,77	32,88	42,41	50,15	49,57
		ТМ-конто 51		15,42	17,69	22,27	25,79	29,54
		ТА-конто 540		5,97	6,52	7,56	6,28	5,75
		ФР-конто 56		35,74	34,87	21,46	4,27	4,81
19	Укупни приходи	10 <sup>3</sup> дин	1.416.613	1.140.244	816.752	1.611.195	1.703.709	

**Напомена:** ТЗ-укупни трошкови бруто зарада и накнада; ТМ- трошкови материјала и енергије; ТА-трошкови амортизације; ФТ-финансијски расходи (камате, негативне курсне разлике)

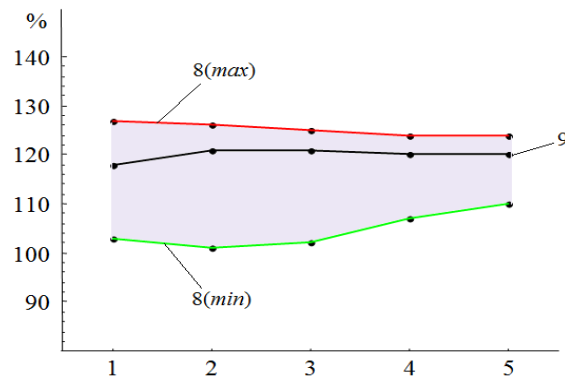




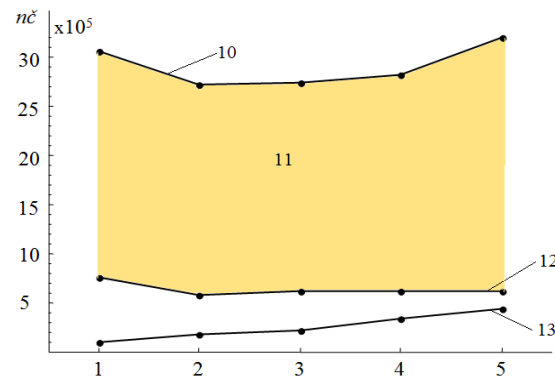
Слика 79: Робна производња



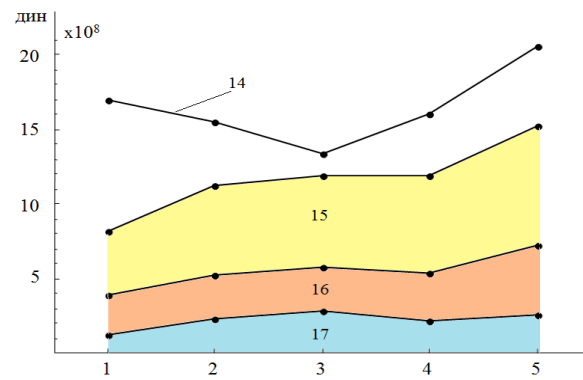
Слика 80: Производња са шкартом



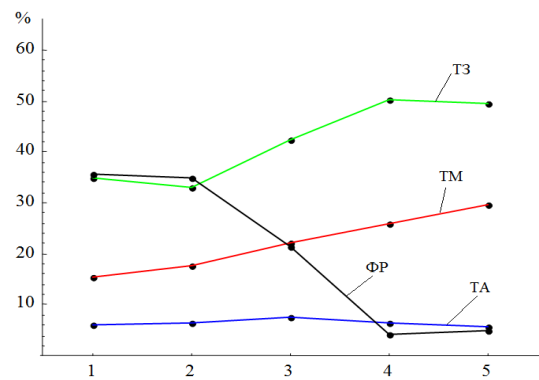
Слика 81: Извршење нормe



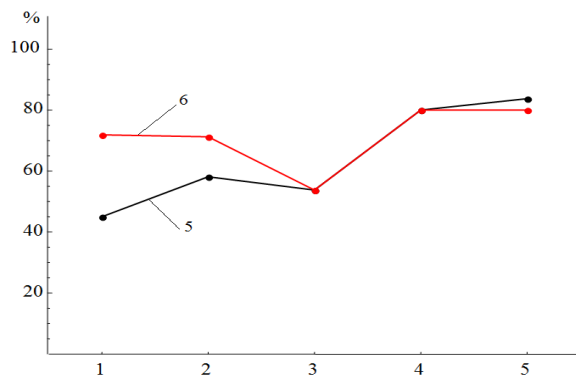
Слика 82: Структура часова рада



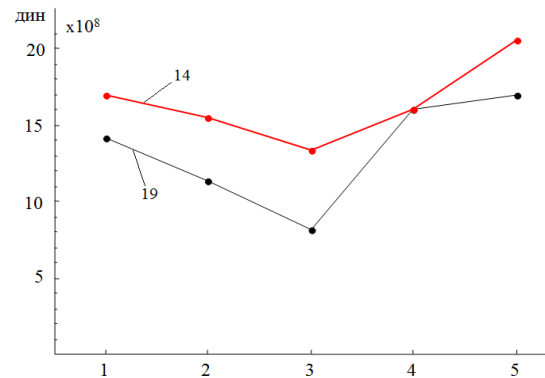
Слика 83: Укупан расход и залихе



Слика 84: АБЦ анализа трошкова



Слика 85: Процентуално учешће извоза



Слика 86: Укупан приход и расход

Извршење годишњих планова робне производње (слика 79) креће се од 77-93%. Значајно је учешће недовршене производње и шкарта (слика 80) у односу на реализован обим робне производње. Обртна средства ангажована у залихама (слика 83) имају високе вредности. Потенцијал људских ресурса није на адекватан начин искоришћен. Са једне стране велики је фонд изгубљених часова рада, а са друге стране значајно је ангажовање радника кроз прековремени рад (слика 82). Доминантно место заузима производња намењена извозу (слика 85) исказана и преко физичких и преко финансијских показатеља. Извршење норме (слика 81) креће се у великим распонима, имајући у виду да је заступљен серијски тип производње. Учешће трошкова у укупним расходима приказано је на слици 84, а однос прихода и расхода на слици 86. Процес планирања и управљања производњом заснован је на искуству.

Имајући у виду описане карактеристике *PPS*-а, може се констатовати, да су развијени теоријски модели за пројектовање и управљање производњом *SP*-а применљиви у условима и ограничењима наменске производње јер садрже кључне параметре који утичу на временску и финансијску димензију *PC*-а.

Кључне карактеристике *PPS*-а анализирани су у периоду од 2005-2009. при чему се избор репрезентативног узорка заснива на артиклима који се производе почев од 2010. године, табела 19. Критеријуми за избор репрезентаната могу бити бројни, али су свакако најзначајнији они који указују на значај производа у структури производног програма. Ширина и осцилације у асортиману производње упућују на избор производа из 2. групе-фамилије производа, из следећих разлога:

- артикли из 2. групе учествују са 72% у реализованој робној производњи у 2009. години. У 2010. планирано је ангажовање од 69%, табела 21,
- заступљеност у производном програму директно се одражава на структуру трошкова, вредност норма часа и остале финансијске показатеље,
- артикли из 2. групе спадају у сложеније производе при чему се мањи број делова (до 14%) набавља из кооперације. Одређени делови (42-87) уграђују се у више производа лимитирајући на тај начин трајање *PC*-а, табела 19,
- у процесу производње заступљена су сва технолошка подручја рада,
- заступљена је серијска понављајућа прекидна и континуална производња, намењена извозу, са разноврсним степеном ангажовања капацитета.

Табела 19: Подаци о  $SP$ -а  $X_j$  који чине репрезентативни узорак

Р. б.	Ознака		Параметри поруџбине				Укупно делова				Заједничке $PF$				Укупно $TO$
	Интер.	$X_j$	ком	нч	§	Период	Коопер.		$PF$	$\Sigma$	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	
							ком	%							
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>	<i>10</i>	<i>11=8+10</i>	<i>12</i>	<i>13</i>	<i>14</i>	<i>15</i>	<i>16</i>
1	K30/3 POP	$X_1$	105.000	3.305.799	52.000.000	2010 - 2012.	8	14	51	59	-	43	42	44	1.421
2	T40 PP	$X_2$	420.000				8	14	48	56	43	-	42	42	
3	K30/4 TZP	$X_3$	420.000				13	12	95	108	42	42	-	87	
4	K30/5 TOP	$X_4$	105.000				14	12	100	114	44	42	87	-	
5	BGA	-	420.000				-	-	-	-	-	-	-	-	
Укупно			1.470.000			14	-	120	134	42					

Поруџбина специфицирана у табели 19 садржи пет артикала од којих прва четири чине репрезентативни узорак. За производњу артикала који чине репрезентативни узорак, користи се укупно 120  $PF$ -а и 14 делова из кооперације.

Табела 20: Процентуална заступљеност технологија по производима

Ознака $SP$ -а	Заступљеност технологија по врстама и $RJ$ -а, %						
	Дефор. $RJ$ -120	Резање $RJ$ -160	Зашт. $RJ$ -170	Пир. и арт. $RJ$ -180	Контр. $RJ$ -600	Транс. $RJ$ -300	Амбал. $RJ$ -110
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>
$X_1$	19,58	20,20	14,81	29,50	10,72	0,05	5,14
$X_2$	23,01	18,22	19,27	20,78	12,90	0,07	5,74
$X_3$	13,46	22,14	10,12	39,98	11,17	0,09	3,03
$X_4$	12,39	21,26	9,93	43,24	10,37	0,05	2,78

У табели 20 приказана је заступљеност производних технологија, а у табели 21 планиран обим робне производње, по групама производа, за 2010. годину, од 2.043.122 нч. Учешће производа репрезентаната износи 1.063.882 нч или 52%.

Табела 21: Учешће производа репрезентаната у плану производње за 2010.

Производни програм		Распон количина ком	Планирана робна производња у нч/god		%
Ознака групе производа	Број $SP$		Учешће производа репрезентаната	Остали артикли	
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>
1	5	4.000-17.000	0	19.400	0,9
2	16	1.000-142.000	1.063.882 ( $X_1$ - $X_4$ )	341.887	68,8
3	3	5.000-15.000	0	34.940	1,7
4	0	0	0	0	0,0
5	12	1.000-75.000	0	91.046	4,5
6	48	500-32.500	0	149.600	7,3
7	9	250-9.000	0	342.367	16,8
Укупно		250-142.000	1.063.882 (52%)	979.240 (48%)	100

## 4.2 План експерименталних истраживања

Из табеле 21 може се закључити да производни програм Компаније за 2010. годину садржи велики број *SP*-а (55) и делова (38) који су намењени програму кооперације. Распони уговорених количина (табела 21, колона 3), по групама-фамилијама производа, указују на присутност сва три вида серијске производње.

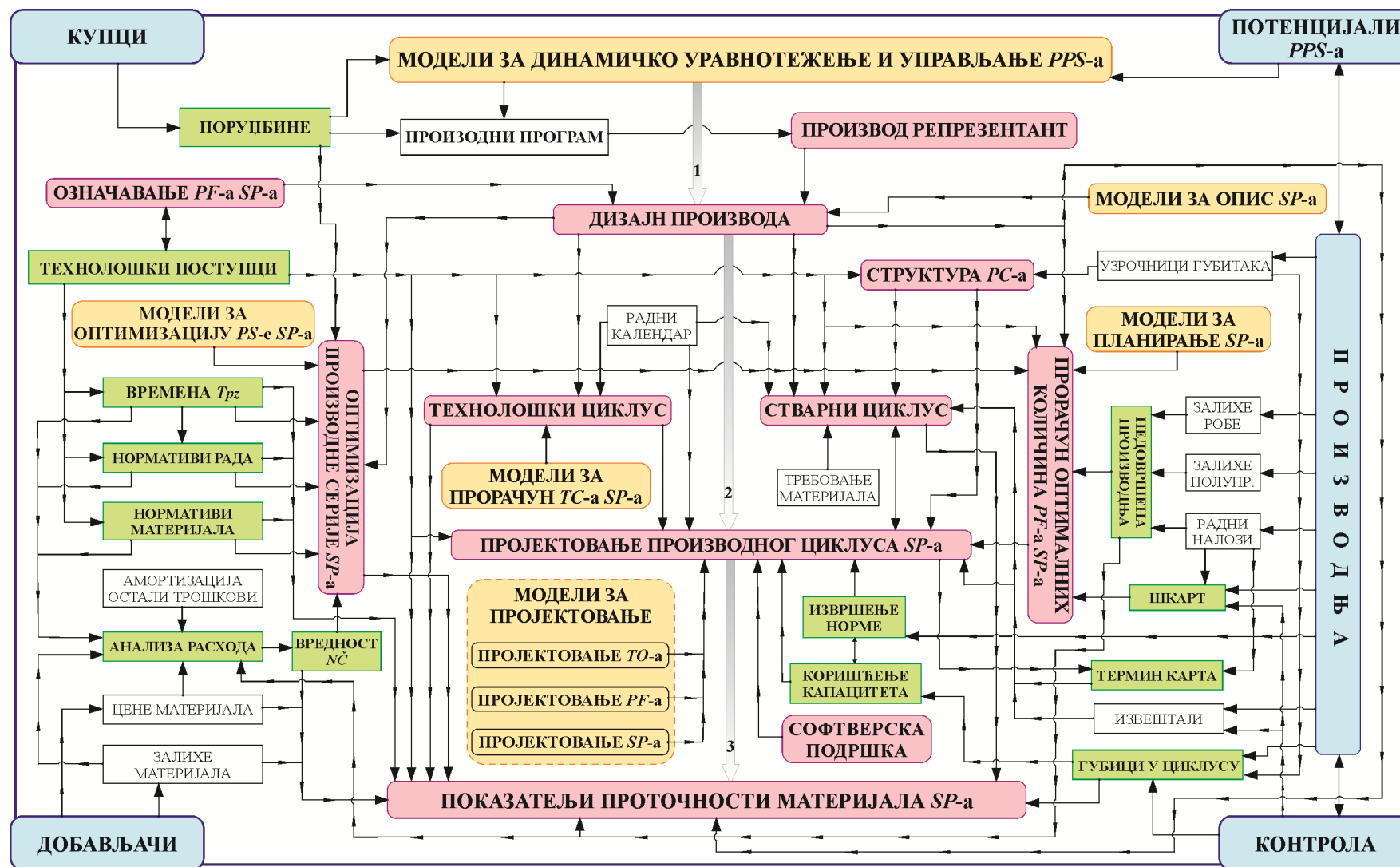
Краткорочно и дугорочно посматрано заступљеност артикала у структури производног програма (табела 18) повезана је са вероватноћом. Изразита нестабилност производног програма произилази из намене производа, глобализације пословања и положаја државе у међународним оквирима.

У производном процесу присутан је велики број сложених технологија, материјала и алата. Опрему карактерише изразита флексибилност при употреби што омогућава креирање технолошких алтернатива. На тај начин могуће је отклонити "уска грла" у процесу производње. Међутим, јавља се проблем при избору оптималних решења. Проблематику *PC*-а додатно усложњава велики број делова у *SP*-у, могућност уградње истих делова у више различитих производа и учешће делова из кооперације.

Широк асортиман, осцилације у погледу обима и структуре поруџбина, извозна оријентација са неизвесним смером промена у окружењу и велики број ограничења намећу коришћење модела за динамичко управљање и уравнотежење *PPS*-а [34]. Варијабле у овом моделу описују нивое *SP*-а. Њихове вредности указују на оптималну структуру планова производње, почев од варијанти израде, преко количина делова па закључно са количинама *SP*-а. Истовремено је могуће идентификовати "уска грла", односно ограничења која лимитирају оптималне вредности. Модели за динамичко управљање и уравнотежење *PPS*-а дају одговор на питање да ли се могу и под којим условима реализовати планови производње у зависности од усвојеног планског хоризонта.

Модели за пројектовање и управљање *PC*-ом *SP*-а неће дати жељене ефекте уколико се не дефинише оптималан производни програм лимитиран са једне стране поруџбинама а са друге стране расположивим потенцијалима *PPS*-а.

На слици 87 приказане су фазе реализације експерименталних истраживања са токовима података и планираним активностима за примену развијених теоријских модела из тачке 3.



Слика 87: Фазе експеримента са токовима података и активности за примену развијених модела за управљање PC-ом SP-a

Експериментална истраживања обухватају период од 2010-2012. године односно, временски период реализације поруџбине производа репрезентаната приказаних у табели 19. Имајући у виду информационе токове и логичан след тестирања развијених теоријских модела експеримент је реализован у три фазе.

**Прва фаза** експерименталних истраживања (1), слика 87, обухвата скуп активности потребних за дефинисање структуре *PC*-а и примену теоријских модела за дизајнирање производа репрезентаната.

**Друга фаза** (2), слика 87, обухвата активности које се односе на оптимизацију производне серије *SP*-а, прорачун оптималних количина *PF*-а, прорачун технолошког и утврђивање стварног трајања циклуса *PF*-а и *SP*-а. У овој фази експеримента примењени су и тестирани теоријски модели за оптимизацију производне серије, планирање и прорачун *TC*-а.

**Трећа фаза** експеримента (3), слика 87, обухвата активности које су везане за квантификацију утицајних елемената на процесе пројектовања циклуса *TO*, *PF* и *SP*-а. Примењени су одговарајући модели за пројектовање циклуса и утврђене вредности најважнијих показатеља за мерење проточности материјала. У оквиру ове фазе креирана су оригинална и примењена постојећа софтверска решења са циљем да се процес пројектовања максимално поједностави. Пројектована решења тестирана су у реалним условима производње помоћу постојеће планске и производне документације.

### 4.3 Структура *PC*-а и дизајн производа репрезентаната

Структура *PC*-а и дизајн *SP*-а дефинисани су технолошком документацијом и најважнијим узрочницима губитака и застоја. За реализацију експерименталних истраживања релевантна су три документа Компаније "Слобода":

- Каталог припремно-завршних времена,
- Операцијски поступак - Списак операција са нормативима, и
- Списак материјала и делова.

*Каталог* се корист за утврђивање припремно-завршних времена у зависности од врсте и типа опреме и сложености предмета рада. *Операцијски поступак* (слика 88) садржи следеће податке: назив *SP*-а и *PF*-е са претходног нивоа; назив, шифру и број цртежа *PF*-е за чију израду је намењен поступак; врсту, квалитет, шифру и

норматив материјала; редни број, назив и опис операција; радно место (радња јединица, машина, уређај); технолошки шкарт; основно време израде (утврђује се хронометрисањем); допунско време (изражава се у % у односу на основно); време по операцији; капацитет у смени; потребну квалификацију радника; број извршилаца и укупно време по комаду у *cmh/kom*.

**OPERACIJSKI POSTUPAK**  
- SPISAK OPERACIJA SA NORMATIVIMA-

MATERIJAL	Vrsta i kvalitet	ČR2		Proizvod:	Metak 30mm AP-T ili (POP) ili (K30/3) X <sub>1</sub>								
	Tehnički uslovi	SORS-1648		Prethodni nivo:	Telo - otpresak								
	Sirove dimenzije	Ø15,8×3000		Proizvodna faza	Telo - rondela								
	Tehnički uslovi	SRPS C.B3.411			Crtež:	ST1-8587			Oznaka: X <sub>121121111</sub> (47→51)				
Količina za 1000 kom.	20 kg	Šifra: 128116151		Šifra:	170008587	Pripremno-završno vreme:		Isporuka SKL - skladištu					
OPERACIJA			RADI			Vreme							
Broj	Na ziv	Reg broj	R J	Mašina, uređaj	tehnološki škart po obradi (%)	Izra de (cmh)	Dopunsko (%)	Po operaciji t <sub>i</sub> (cmh)	Kapacitet za 7,5 č.	Grupa posla	Broj rad.	Po komadu t <sub>k</sub>	Kumul.
1	Obra da iz šipke (odse. 2 kom./cik.)	87486/1	160	Šestovreteni automat "Gyromatik"	1.5	886/eik 443/kom	20	531	1412	V-1	1	531	
1a	Obra da iz šipke	87486/1a	160	Šestovreteni automat "Gildemeister"AS25(32)	1.5	556	30	723	1037	V-1	1	723	
1b	Obra da iz šipke (odse. 2 kom./cik. spec. podešena)	87486/1b	160	Šestovreteni automat "Gildemeister"AS25(32)	1.5	214/eik 107/k0m	30	139	5396	V-1	1	139	
2	Pranje komada	87486/2	160	Ručno	-	22	15	25	30000	II-1	1	25	
3	Poravnjanje druge strane	87486/3	160	Dora dni strug "Auebach"	0.5	408	15	468	1600	II-2	1	468	
4	Pranje komada	87486/4	160	Ručno	-	22	15	25	30000	II-1	1	25	
5	Tehnička kontrola-preventiva	87486/5	630	Ručno	-	Režijski poslovi							
6	Tehnička kontrola-uzorkovanje	87486/6	630	Ručno	-	65	15	75	10000 (1000)	IV-2	1	75	
7	Tehnička kontrola	87486/7	630	Očno	-	100	15	115	6500	II-2	1	115	
8	Transport	87486/8	300	Elektro kareta	-	10	15	12	65000	II-2	1	12	
Izmena:	*Ozn.:za X <sub>1</sub> : X <sub>121121111</sub> (47→51);za X <sub>2</sub> : X <sub>211211111</sub> (44→48);za X <sub>3</sub> : X <sub>311211111</sub> (70→84);za X <sub>4</sub> : X <sub>411211111</sub> (76→89)										Veza sa: Kopija		
											85359 broj: datum		
Postavio:	Kontrol:	Odobrio:		Zam-je		List br.: 1							
Datum:	Datum:	Datum:		Zam-sa:		Ima lista: 1		87486					

Слика 88: Операцијски поступак- Списак операција са нормативима

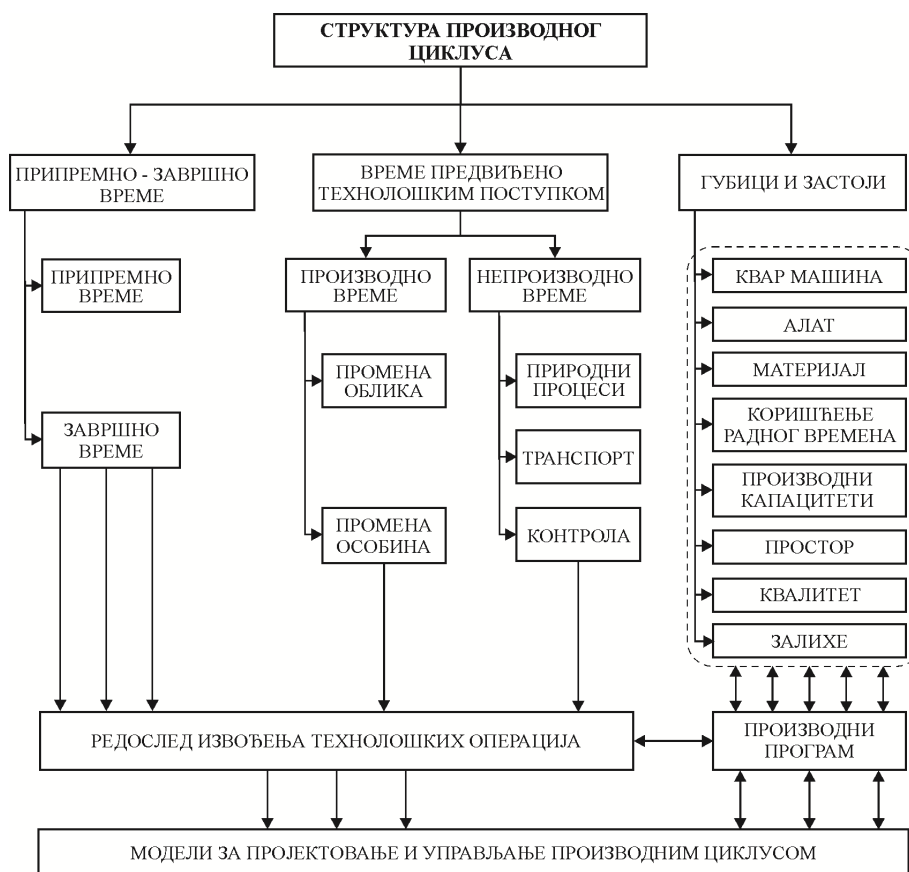
**SPISAK**  
- MATERIJALA I DELOVA-

NAZIV PROIZVODNE FAZE:						ŠIFRA:			CRTEŽ:			
Metak 30mm za top 2A72 Upakovan - X <sub>12</sub> (2→4)						176580705			6580705			
Red broj	Naziv materijala - dela	Šifra	Crtež, Dimenzija, kvalitet	Jed. mere	Količina za 1 sanduk (30 kom.)	Red broj	Naziv materijala - dela	Šifra	Crtež, Dimenzija, kvalitet	Jed. mere	Količina za 1 sanduk (30 kom.)	
1	Laborisan metak 30mm sa POP M90	176474902 X <sub>1,21</sub> (4→5)	6474902	kom	30	11	Etikete	502050754	SKB 6372	kom	1	
2	Tuljak sklop	156552247 X <sub>1,22</sub> (4→6)	6552247	kom	30	12	Etiketa klase opasnosti 1.3C(50×50mm)	502050735	50×50	kom	1	
3	Sanduk okovan	156552250 X <sub>1,23</sub> (4→12)	6552250	kom	1	13	Žica za plombu	700302524	SORS C.B6.010	kg	0,002	
4	Kanap za vađenje tuljka (kudeljni ø1 mm)	351001001	Trg. kvalitet	m	1,2	14	Plomba	700300031	SORS C.E1.031	kom	0,008	
5	Obloga	176580712 X <sub>1,23</sub> (4→7)	6580712	kom	1							
6	Unutrašnji uložak SL 448×133×1	176580713 X <sub>1,27</sub> (4→11)	6580713	kom	1							
7	Gomji-donji uložak SL 474×296×1	176580708 X <sub>1,25</sub> (4→9)	6580708	kom	2							
8	Prednji-za dnji uložak SL 450×137×1	176580709 X <sub>1,24</sub> (4→8)	6580709	kom	4							
9	Bočni uložak SL 297×137×1	176580710 X <sub>1,24</sub> (4→10)	6580710	kom	4							
10	Odstojnik(stiropor)	090001318	296×137×24	kom	1							
Izmena:											Veza sa: Kopija	
											88312 broj: datum	
Postavio:	Kontrol:	Odobrio:		Zam-je		List br.: 1						
Datum:	Datum:	Datum:		Zam-sa:		Ima lista: 1		88313				

Слика 89: Списак материјала и делова (изглед документа за паковање SP-а X<sub>1</sub>)

Списак материјала и делова (слика 89) користи се у случајевима када се за израду *PF*-а, на пример пиротехничких смеша, користи више разноврсних материјала односно, када се операцијски поступак пројектује за сложене *PF*-е, на пример за монтажу. Документ садржи податке о врстама и количинама материјала односно *PF*-а које се уграђују, и представља основу за дизајнирање структуре *SP*.

Операцијски поступак (слика 88) садржи производне (1,2,3 и 4) и непроизводне (5,6,7 и 8) *ТО*-е. Технолошке алтернативе (варијанте израде) могу се дефинисати у оквиру једног или више операцијских поступака, у зависности од броја алтернативних *ТО*-а. На слици 88 варијанте се односе на прву операцију и дефинисане су у оквиру једног поступка који је регистрован под бројем 87486. Алтернативе су могуће по: заступљеним технологијама израде (деформација, резање) и заштите, врсти и димензијама материјала, производним целинама итд.



Слика 90: Структура *PC*-а у Компанији "Слобода"

Структура *PC*-а (слика 90) дефинисана је помоћу технолошке документације, која у потпуности обухвата припремно-завршна, производна и непроизводна времена, и најважнијих узрочника губитака [34, 64], табела 3.



Наредни корак у експерименту усмерен је ка формирању оријентисаног мултиграфа и графа технолошке структуре производа репрезентаната. Основу за примену модела за опис и дизајнирање структуре *SP*-а представљају технолошки поступци које на одговарајући начин треба "означити". Прво се означава поступак за палетирање метка користећи одговарајућу ознаку за лук ( $X_1$ ) односно, за чворове који детерминишу тај лук (1,2). На тај начин је дефинисан почетни чвор (1) и први ниво ( $N=1$ ) у оријентисаном графу. У документу Списак материјала и делова налазе се *PF*-е (лукови графа) које претходе палетирању метка. Ове *PF*-е припадају другом нивоу ( $N=2$ ) оријентисаног графа и "излазе из чвора 2". Остале *PF*-е треба означити у складу са методологијом означавања лукова описаној у тачки 3.2. Ознаке *PF*-а потребно је уписати у технолошку документацију *SP*-а, како је и приказано на сликама 88 и 89.

За конструисање оријентисаних мултиграфова, и на основу њих графова технолошке структуре, типа "дрво", потребно је извршити анализу комплетне технолошке документације, за све производе из репрезентативног узорка. Посебно треба обратити пажњу на варијанте израде и на *PF*-е које се уграђују у више производа. У табели 22 приказани су подаци неопходни за конструисање мултиграфа за производ  $X_1$ . У колони 5 приказане су количине делова које се уграђују у први надређени ниво *SP*-а, у колонама 6-9 варијанте израде а у колонама 10-12 ознаке *PF*-а из графа. У колони 13 дате су ознаке *PF*-а које се користе у моделима за динамичко управљање и уравнотежење *PPS*-а. Примена ових модела је неопходна за избор оптималних алтернатива и количина које треба у оквиру њих произвести. На основу ових сазнања могуће је мултиграф *SP*-а трансформисати у граф технолошке структуре, пројектовати циклус, отворити радне налоге, управљати производним процесима и анализирати остварене ефекте. Преглед делова који се производе по алтернативним технолошким поступцима и уграђују у више производа репрезентаната дат је у табели 23. На пример, за израду чауре (шифра: 176475013, табела 22, редни број 21) постоје два технолошка поступка (85450С и 85450) који садрже 76 и 73 операције. Могуће су алтернативе по материјалу (3), врсти заштите (2) и заступљеној опреми (64 или 128) што дефинише укупно 256 могућих алтернатива. Истовремено чаура се уграђује у сва четири производа (табела 23, редни бројеви: 1,9,16,27).

Табела 22: Подаци за конструисање оријентисаног мултиграфа технолошке структуре сложеног производа  $X_1$  (слика 91)

Р. б.	Производна фаза		Технолошки поступак						Граф технолошке структуре		Напомена	
	Назив	Шифра	Ознака	Количина за први надредени ниво $n_i$ (Ком, кг)	Варијанте израде				Ознака PF-е			Ниво у графу
					Материјал	Опрема	Заштита	Укупно	Помоћу лука	Помоћу чворова		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	Палетиран метак	170006479	88369	1	-	-	-	-	X <sub>1</sub>	(1,2)	I	Y <sub>1</sub>
2	Палета	-	-	0,0011	-	-	-	-	X <sub>1,1</sub>	(2,3)	II	Y <sub>2</sub>
3	Упакован метак	176580705	88312	1	-	-	-	-	X <sub>1,2</sub>	(2,4)		Y <sub>3</sub>
4	Лаборисан метак	176474902	81461	1	-	-	-	-	X <sub>1,2,1</sub>	(4,5)	III	Y <sub>4</sub>
5	Туљак склоп	156552247	84229	1	-	-	-	-	X <sub>1,2,2</sub>	(4,6)		Y <sub>5</sub>
6	Облога	176580712	88310	0,0333	-	-	-	-	X <sub>1,2,3</sub>	(4,7)		Y <sub>6</sub>
7	Предњи-задњи уложак	156580709	88959	0,1333	-	-	-	-	X <sub>1,2,4</sub>	(4,8)		Y <sub>7</sub>
8	Горњи-доњи уложак	156580708	88958	0,0667	-	-	-	-	X <sub>1,2,5</sub>	(4,9)		Y <sub>8</sub>
9	Бочни уложак	156580710	88960	0,1333	-	-	-	-	X <sub>1,2,6</sub>	(4,10)		Y <sub>9</sub>
10	Унутрашњи уложак	156580713	88961	0,0333	-	-	-	-	X <sub>1,2,7</sub>	(4,11)		Y <sub>10</sub>
11	Окован сандук	6552250	84240	0,0333	-	-	-	-	X <sub>1,2,8</sub>	(4,12)		Y <sub>11</sub>
12	Чаура са ТК и лег. за деб.	176475014	85632	1,03	-	-	-	-	X <sub>1,2,1.1</sub>	(5,13)	IV	Y <sub>12</sub>
13	Лаборација пројектила	176474910	81463	1,03	-	-	-	-	X <sub>1,2,1.2</sub>	(5,14)		Y <sub>13</sub>
14	Шарнир	044100200	73544	2	-	-	-	-	X <sub>1,2,8.1</sub>	(12,15)		Y <sub>14</sub>
15	Дрвени сандук	6552251	84238	1	-	-	-	-	X <sub>1,2,8.2</sub>	(12,16)		Y <sub>15</sub>
16	Кукица	044100106	73520	2	-	-	-	-	X <sub>1,2,8.3</sub>	(12,17)		Y <sub>16</sub>
17	Носач	11102005	78293	2	-	-	-	-	X <sub>1,2,8.4</sub>	(12,18)		Y <sub>17</sub>
18	Рукохват	11102004	78553	2	-	-	-	-	X <sub>1,2,8.5</sub>	(12,19)		Y <sub>18</sub>
19	Угаоник	176552252	86156	4	-	-	-	-	X <sub>1,2,8.6</sub>	(12,20)		Y <sub>19</sub>
20	Затварач - монтажа	044100100	73528	2	-	-	-	-	X <sub>1,2,8.7</sub>	(12,21)		Y <sub>20</sub>
21	Чаура	176475013	85450C	1,03	2	64	2	256	X <sub>1,2,1.1.1</sub>	(13,22)	V	Y <sub>21</sub>
			85450		1	128						
22	Топовска капела ТК-10	176579400	86792	1,03	-	-	-	-	X <sub>1,2,1.1.2</sub>	(13,23)		Y <sub>22</sub>
23	Прстен оловни	015500102	78316	1,03	2	-	-	2	X <sub>1,2,1.1.3</sub>	(13,24)		Y <sub>23</sub>
24	Легура за дебакарисање	176417206	82745	1,03	-	-	-	-	X <sub>1,2,1.1.4</sub>	(13,25)	Y <sub>24</sub>	

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
25	Кошуљица са п.в. и трасе.	156580627	86895	1,02	-	-	-	-	X <sub>1.2.1.2.1</sub>	(14,26)	V	У <sub>25</sub>
26	Балистичка капа	176474915	84078	1,03	-	-	-	-	X <sub>1.2.1.2.2</sub>	(14,27)		У <sub>26</sub>
27	Доње крилце	044100201	73538	1	-	-	-	-	X <sub>1.2.8.1.1</sub>	(15,28)		У <sub>27</sub>
28	Горње крилце	044100202	73538	1	-	-	-	-	X <sub>1.2.8.1.2</sub>	(15,29)		У <sub>28</sub>
29	Осовиница	044100203	73542	1	-	-	-	-	X <sub>1.2.8.1.3</sub>	(15,30)		У <sub>29</sub>
30	Преклопник	044100101	73503	1	-	-	-	-	X <sub>1.2.8.7.1</sub>	(21,31)		У <sub>30</sub>
31	Носач	044100102	73507	1	-	-	-	-	X <sub>1.2.8.7.2</sub>	(21,32)		У <sub>31</sub>
32	Осовиница	044100103	73511	1	-	-	-	-	X <sub>1.2.8.7.3</sub>	(21,33)		У <sub>32</sub>
33	Носач осовинице	044100104	73513	1	-	-	-	-	X <sub>1.2.8.7.4</sub>	(21,34)		У <sub>33</sub>
34	Алка	044100105	73517	1	-	-	-	-	X <sub>1.2.8.7.5</sub>	(21,35)		У <sub>34</sub>
35	Тело са улошком (лабор.)	176579401	86790	1,002	-	-	-	-	X <sub>1.2.1.1.2.1</sub>	(23,36)	VI	У <sub>35</sub>
36	Припала (лаборација)	176475010	85441	1,002	-	-	-	-	X <sub>1.2.1.1.2.2</sub>	(23,37)		У <sub>36</sub>
37	Основна трас. смеша Рц-247	051500257	86949	0,01	-	-	-	-	X <sub>1.2.1.2.1.1</sub>	(26,38)		У <sub>37</sub>
38	Припална смеша Рц-103	051500099	77599	0,0019	-	-	-	-	X <sub>1.2.1.2.1.2</sub>	(26,39)		У <sub>38</sub>
39	Кошуљица са прст. водећ.	156417159	84082	1,02	-	2	-	2	X <sub>1.2.1.2.1.3</sub>	(26,40)		У <sub>39</sub>
40	Тело	176475005	87777А	1,01	-	4	-	4	X <sub>1.2.1.1.2.1.1</sub>	(36,41)	VII	У <sub>40</sub>
41	Уложак (лаборација)	176579402	86786	1,005	-	-	-	-	X <sub>1.2.1.1.2.1.2</sub>	(36,42)		У <sub>41</sub>
42	Чанче припале	176475011	83431	1,01	-	-	-	-	X <sub>1.2.1.1.2.2.1</sub>	(37,43)		У <sub>42</sub>
43	Чашица	176475012	83432	1,05	-	-	-	-	X <sub>1.2.1.1.2.2.2</sub>	(37,44)		У <sub>43</sub>
44	Припална смеша 1, Рц-189	049801007	79509	0,0006	-	-	-	-	X <sub>1.2.1.1.2.2.3</sub>	(37,45)		У <sub>44</sub>
45	Водећи прстен	156417165	84083	1,1	-	2	-	2	X <sub>1.2.1.2.1.3.1</sub>	(40,46)		У <sub>45</sub>
46	Тело - отпресак	170015191	85353	1,1	2	-	-	2	X <sub>1.2.1.1.2.1.1.1</sub>	(41,47)	VIII	У <sub>46</sub>
47	Чанче	176475007	83429	1,01	-	-	-	-	X <sub>1.2.1.1.2.1.2.1</sub>	(42,48)		У <sub>47</sub>
48	Подлошка	176475008	83430	1,05	-	-	-	-	X <sub>1.2.1.1.2.1.2.2</sub>	(42,49)		У <sub>48</sub>
49	Лаборација чепа са наков.	176579403	86788	1,005	-	-	-	-	X <sub>1.2.1.1.2.1.2.3</sub>	(42,50)		У <sub>49</sub>
50	Тело - рондела	170008587	87486	1,1	-	3	-	3	X <sub>1.2.1.1.2.1.1.1.1</sub>	(47,51)	IX	У <sub>50</sub>
51	Чеп са наковњем	176579404	86160	1,01	-	-	-	-	X <sub>1.2.1.1.2.1.2.3.1</sub>	(50,52)		У <sub>51</sub>

Табела 23: Приказ  $PF$ -а заступљених у репрезентативном узорку производа ( $X_i, i = \overline{1,4}$ ) са варијантама и ознакама из графова технолошке структуре  $SP$ -а

Р.б	Ознака $SP$ -а	Производна фаза		Операцијски поступак			Ознаке у графу						
		Назив	Шифра	Ознака	Број варијанти			Варијанте израде	Чворови	Нивој описа			
					Укупан	Планиран	Пројектован						
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11			
1	$X_1$	Чаура	176475013	85450C	256	2	1	$X_{1.2.1.1.1}^{(Vk_i)}, k = \overline{1,2} \wedge i = \overline{1,64} \forall k$	(13,22)	V			
				85450				$X_{1.2.1.1.1}^{(Vk_i)}, k = 3 \wedge i = \overline{1,128}$					
		Прстен оловни	015500102	78316	2	1	1	$X_{1.2.1.1.3}^{(Vk)}, k = \overline{1,2}$	(13,24)				
		Кошуљ. са п. в.	156417159	84082	2	2	1	$X_{1.2.1.2.1.3}^{(Vi)}, i = \overline{1,2}$	(26,40)		VI		
		Тело	176475005	87777A	4	1	1	$X_{1.2.1.1.2.1.1}^{(Vi)}, i = \overline{1,4}$	(36,41)		VII		
		Водећи прстен	156417165	84083	2	2	1	$X_{1.2.1.2.1.3.1}^{(Vi)}, i = \overline{1,2}$	(40,46)				
		Тело - отпресак	170015191	85353	2	1	1	$X_{1.2.1.1.2.1.1.1}^{(Vk)}, k = \overline{1,2}$	(41,47) (41,51)		VIII		
Тело - рондела	170008587	87486	3	1	1	$X_{1.2.1.1.2.1.1.1.1}^{(Vi)}, i = \overline{1,3}$	(47,51)	IX					
2	$X_2$	Лаб. пројектила	176580641	88915	2	2	1	$X_{2.2.1.2}^{(Vk)}, k = \overline{1,2}$	(5,14)	IV			
				88328									
		Чаура	176475013	85450C	256	2	1	$X_{2.2.1.1.1}^{(Vk_i)}, k = \overline{1,2} \wedge i = \overline{1,64} \forall k$	(13,22)	V			
				85450				$X_{2.2.1.1.1}^{(Vk_i)}, k = 3 \wedge i = \overline{1,128}$					
		Прстен оловни	015500102	78316	2	1	1	$X_{2.2.1.1.3}^{(Vk)}, k = \overline{1,2}$	(13,24)				
		Кошуљ. са п. в.	176580642	88221	7	2	1	$X_{2.2.1.2.1}^{(Vk)}, k = 1$	(14,26)				
				88974				$X_{2.2.1.2.1}^{(Vk_i)}, k = 2 \wedge i = \overline{1,6}$					
		Водећи прстен	156417165	84083	2	2	1	$X_{2.2.1.2.1.1}^{(Vi)}, i = \overline{1,2}$	(26,38)		VI		
		Тело	176475005	87777A	4	1	1	$X_{2.2.1.1.2.1.1}^{(Vi)}, i = \overline{1,4}$	(36,39)		VII		
		Тело - отпресак	170015191	85353	2	1	1	$X_{2.2.1.1.2.1.1.1}^{(Vk)}, k = \overline{1,2}$	(39,44) (39,48)		VIII		
		Тело - рондела	170008587	87486	3	1	1	$X_{2.2.1.1.2.1.1.1.1}^{(Vi)}, i = \overline{1,3}$	(44,48)		IX		
		3	$X_3$	Чаура	176475013	85450C	256	2	1		$X_{3.2.1.1.1}^{(Vk_i)}, k = \overline{1,2} \wedge i = \overline{1,64} \forall k$	(13,22)	V
						85450					$X_{3.2.1.1.1}^{(Vk_i)}, k = 3 \wedge i = \overline{1,128}$		
				Прстен оловни	015500102	78316	2	1	1		$X_{3.2.1.1.3}^{(Vk)}, k = \overline{1,2}$	(13,24)	
				Кошуљ. са п. в.	156417168	84089N	64	1	1		$X_{3.2.1.2.1.2}^{(Vk_i)}, k = \overline{1,2} \wedge i = \overline{1,32} \forall k$	(26,39)	
Тело	176475005			87777A	4	1	1	$X_{3.2.1.1.2.1.1}^{(Vi)}, i = \overline{1,4}$	(36,45)		VII		
Водећи прстен	156417165			84083	2	2	1	$X_{3.2.1.2.1.2.2}^{(Vi)}, i = \overline{1,2}$	(39,51)				
Тело - отпресак	170015191			85353	2	1	1	$X_{3.2.1.1.2.1.1.1}^{(Vk)}, k = \overline{1,2}$	(45,70) (45,84)	VIII			
Кошуљица (трупче)	06417169			81477/Т 87742.Т	2	2	1	$X_{3.2.1.2.1.2.1.1}^{(Vk)}, k = \overline{1,2}$	(50,74)	VIII			
Тело - рондела	170008587			87486	3	1	1	$X_{3.2.1.1.2.1.1.1.1}^{(Vi)}, i = \overline{1,3}$	(70,84)	IX			
Тело самоликв.	176474970	84111	16	1	1	$X_{3.2.1.2.2.4.3.1.2}^{(Vi)}, i = \overline{1,16}$	(79,87)						
Ваљчић	176474977	84110	2	1	1	$X_{3.2.1.2.2.4.3.1.3}^{(Vi)}, i = \overline{1,2}$	(79,88)						

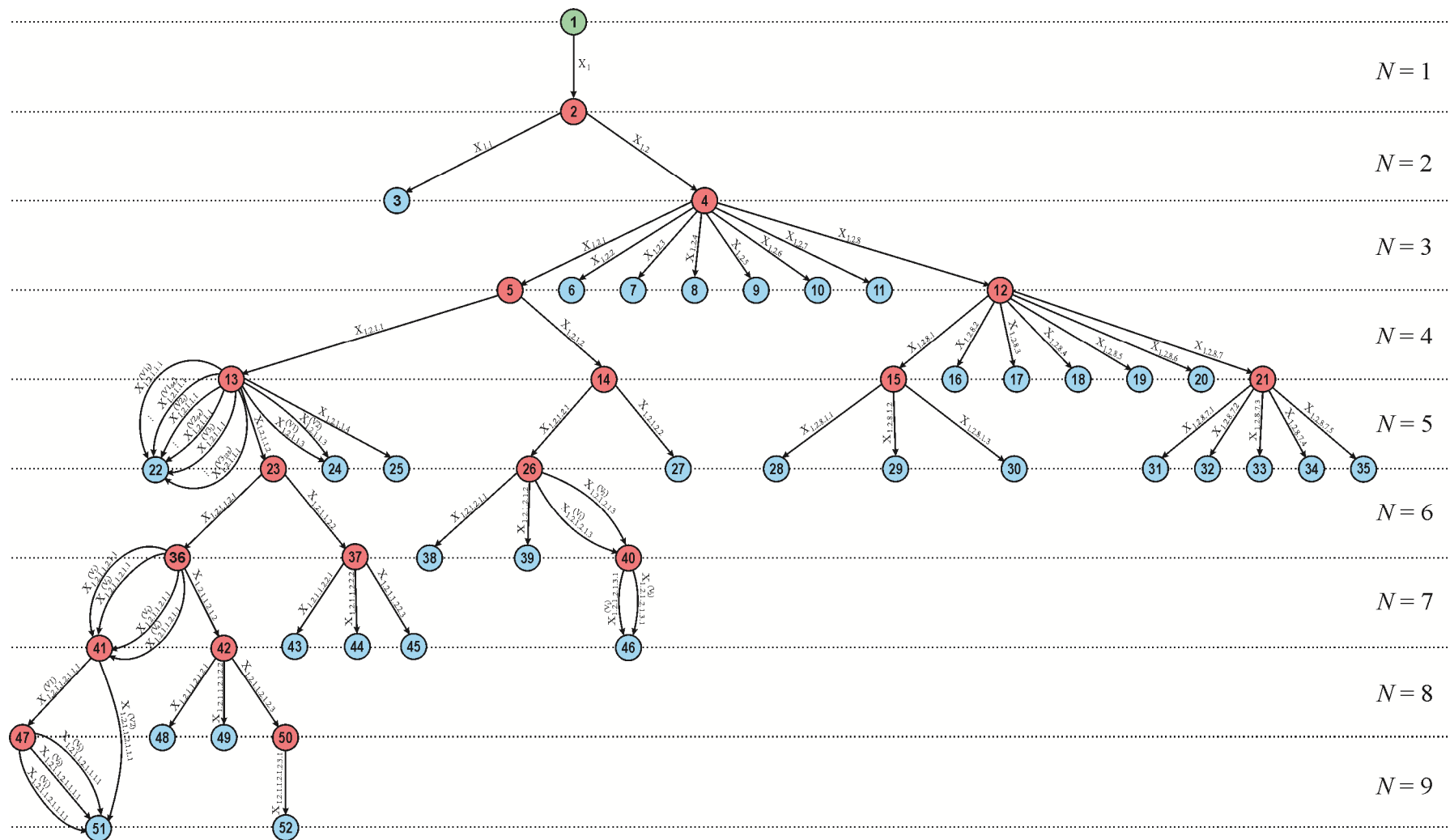
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
26	X <sub>4</sub>	Лаб. пројект.	176474946	84161 88922	2	1	1	$X_{4.2.1.2}^{(vk)}, k = \overline{1,2}$	(5,14)	IV
27		Чаура	176475013	85450C 85450	256	2	1	$X_{4.2.1.1.1}^{(vk_i)}, k = \overline{1,2} \wedge i = \overline{1,64} \forall k$ $X_{4.2.1.1.1}^{(vk_i)}, k = 3 \wedge i = \overline{1,128}$	(13,22)	V
28		Прстен оловни	015500102	78316	2	1	1	$X_{4.2.1.1.3}^{(vk)}, k = \overline{1,2}$	(13,24)	
29		Кошуљица са п.в. и трас. упр.	176580628	88916 85712	2	2	1	$X_{4.2.1.2.1}^{(vk)}, k = \overline{1,2}$	(14,26)	VI
30		Кошуљ. са п. в.	176474955	84098	6	2	1	$X_{4.2.1.2.1.3}^{(v_i)}, i = \overline{1,6}$	(26,44)	
31		Тело	176475005	87777A	4	1	1	$X_{4.2.1.1.2.1.1}^{(v_i)}, i = \overline{1,4}$	(40,52)	VII
32		Водећи прстен	156417165	84083	2	2	1	$X_{4.2.1.2.1.3.1}^{(v_i)}, i = \overline{1,2}$	(44,57)	
33		Тело - отпресак	170015191	85353	2	1	1	$X_{4.2.1.1.2.1.1.1}^{(vk)}, k = \overline{1,2}$	(52,76) (52,89)	VIII
34		Тело - рондела	170008587	87486	3	1	1	$X_{4.2.1.1.2.1.1.1.1}^{(v_i)}, i = \overline{1,3}$	(76,89)	
35		Тело самоликв.	176474970	84111	16	1	1	$X_{4.2.1.2.2.4.3.1.2}^{(v_i)}, i = \overline{1,16}$	(84,92)	IX
36		Ваљчић	176474977	84110	2	1	1	$X_{4.2.1.2.2.4.3.1.3}^{(v_i)}, i = \overline{1,2}$	(84,93)	

Варијанте израде дефинисане су помоћу опште ознаке  $X_{\text{ознака}}^{(vk_i)}$  (табела 23, мултиграфови 91-94), где је:  $X_{\text{ознака}}$  - ознака PF-е;  $V$  - ознака за варијанту;  $k$  - број варијанти по материјалу (требованом делу), технологији израде или заштите, организационим целинама;  $i$  - варијанте по заступљеној опреми у оквиру  $TO$ -а.

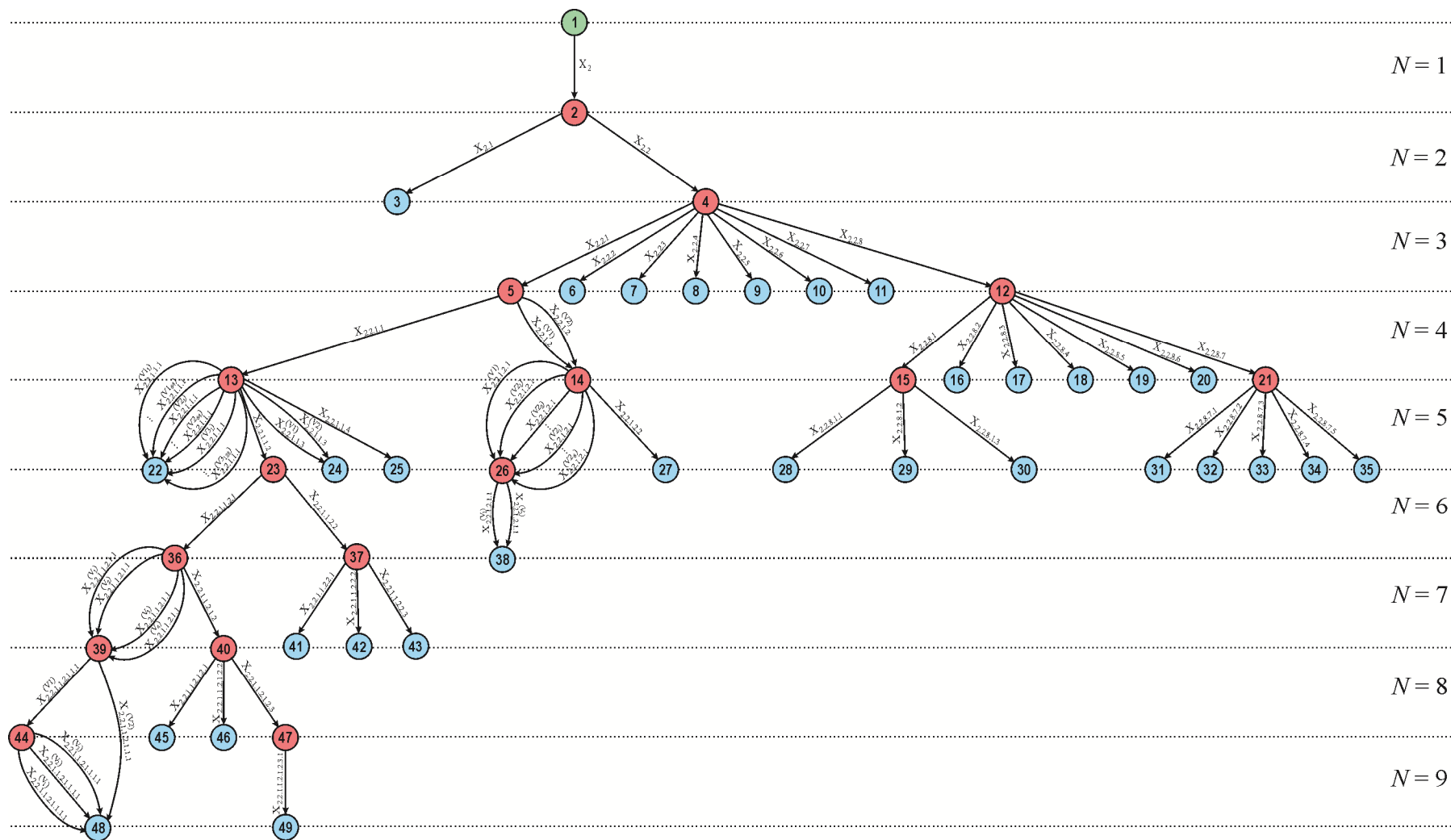
За анализу и цртање графа технолошке структуре  $SP$ -а користи се програм написан у софтверском пакету *Mathematica* (прилог 6). Програм црта граф технолошке структуре  $SP$ -а по нивоима и даје коначан приказ оријентисаног (слике 95-98), супротно оријентисаног и неоријентисаног графа. Поред графичког приказа програм даје и друге параметре графа (табела 24) као што су: матрица суседства чворова и лукова; полустепене улазећих и излазећих грана сваког чвора; максималан распон у графу; укупан број PF-а  $B_{pf}$  и чворова  $V$ ; број и позиције унутрашњих и спољашњих чворова; број нивоа у графу; број карактеристичних путева са ознакама фаза које их образују.

Табела 24: Параметри графа технолошке структуре производа репрезентанта

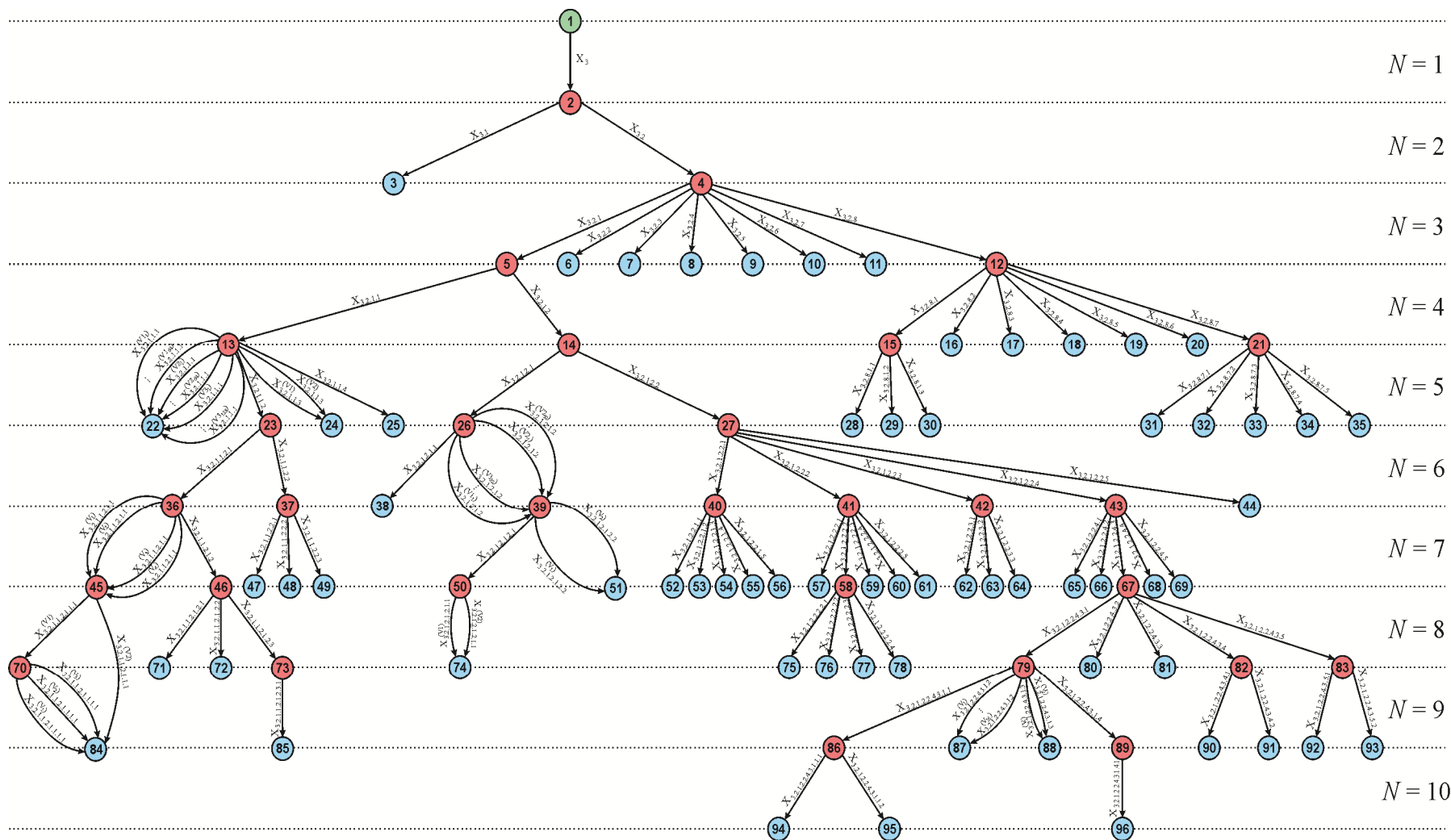
Ознака $SP$ -а	Параметри								
	$ V^{(b)} $	$ V^{(u)}  \equiv B_{pf}^{(s)}$	$ V^{(s)}  \equiv B_{pf}^{(e)}$	$ V $	$B_{pf}$	$\max d^+(u)$	$N$	$\max$ бр. PF на једном нивоу	$B_k$
1	2	3	4	5=2+3+4	6=3+4	7	8	9	10=4
$X_1$	1	17	34	52	51	8	9	14	34
$X_2$	1	16	32	49	48	8	9	14	32
$X_3$	1	30	65	96	95	8	10	25	65
$X_4$	1	30	70	101	100	8	10	24	70



Слика 91: Оријентисан мултиграф технолошке структуре  $SP-a X_1$

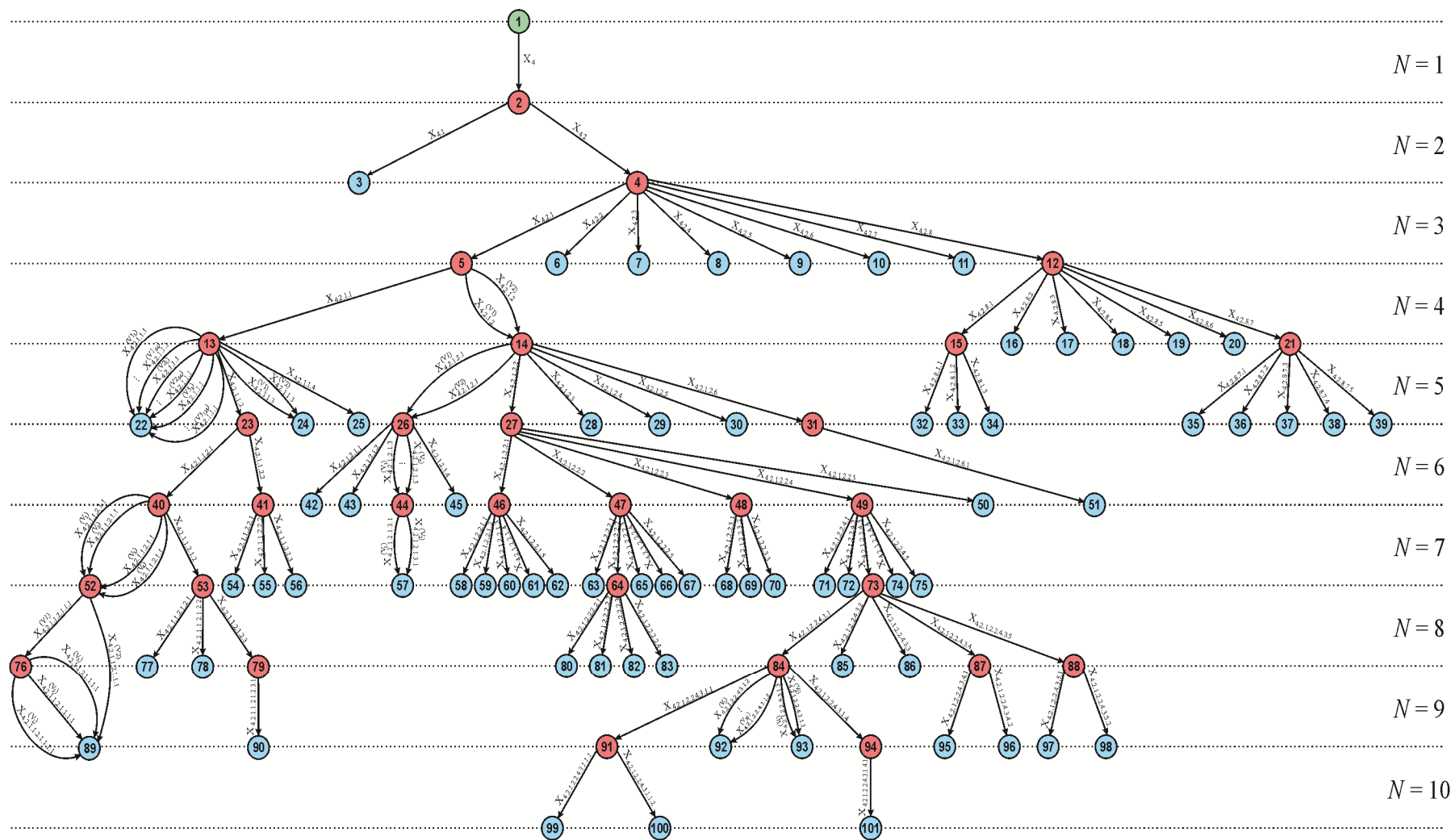


Слика 92: Оријентисан мултиграф технолошке структуре  $SP-a X_2$

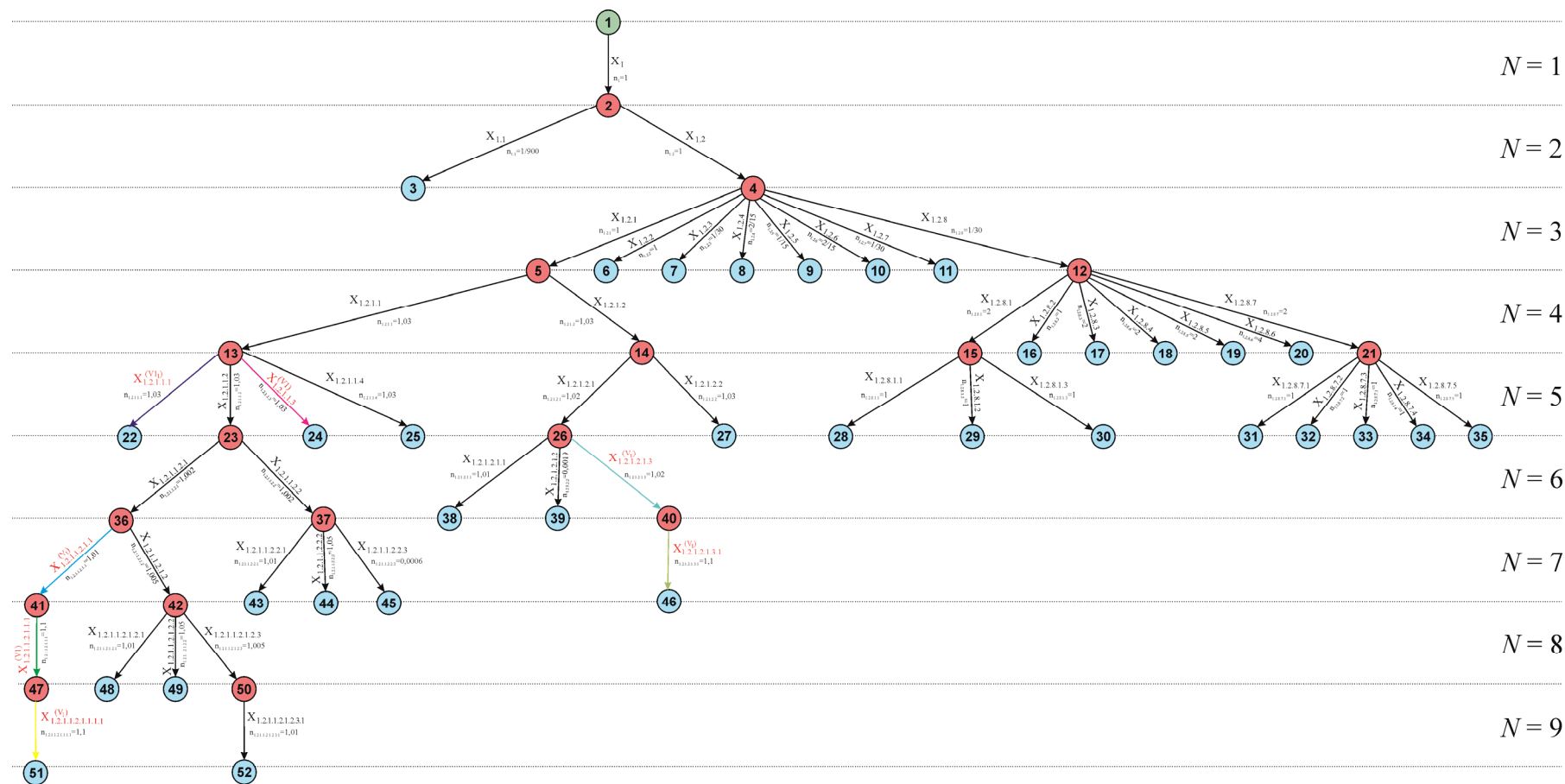


Слика 93: Оријентисан мултиграф технолошке структуре SP-а  $X_3$



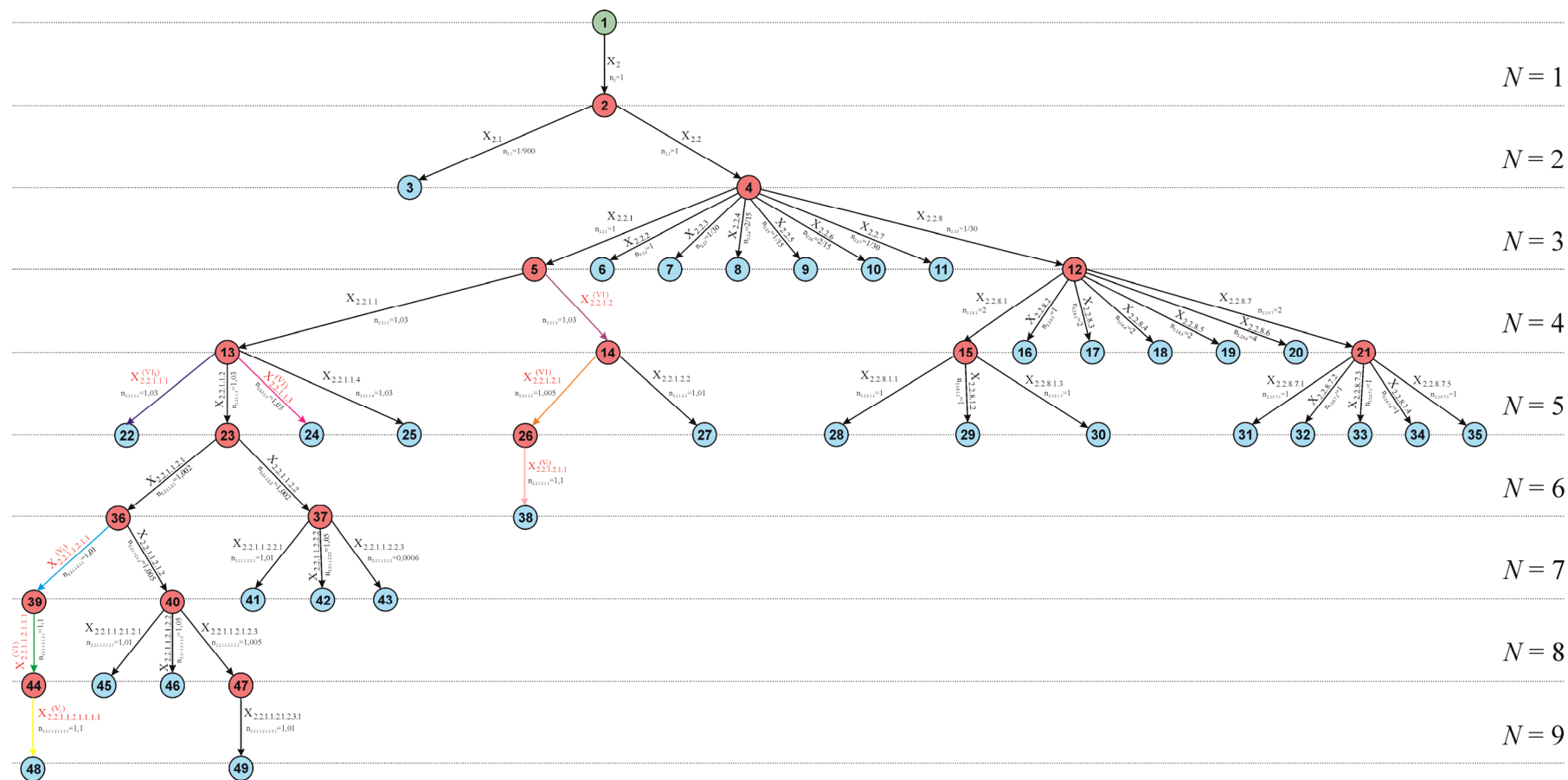


Слика 94: Оријентисан мултиграф технолошке структуре  $SP$ -а  $X_4$



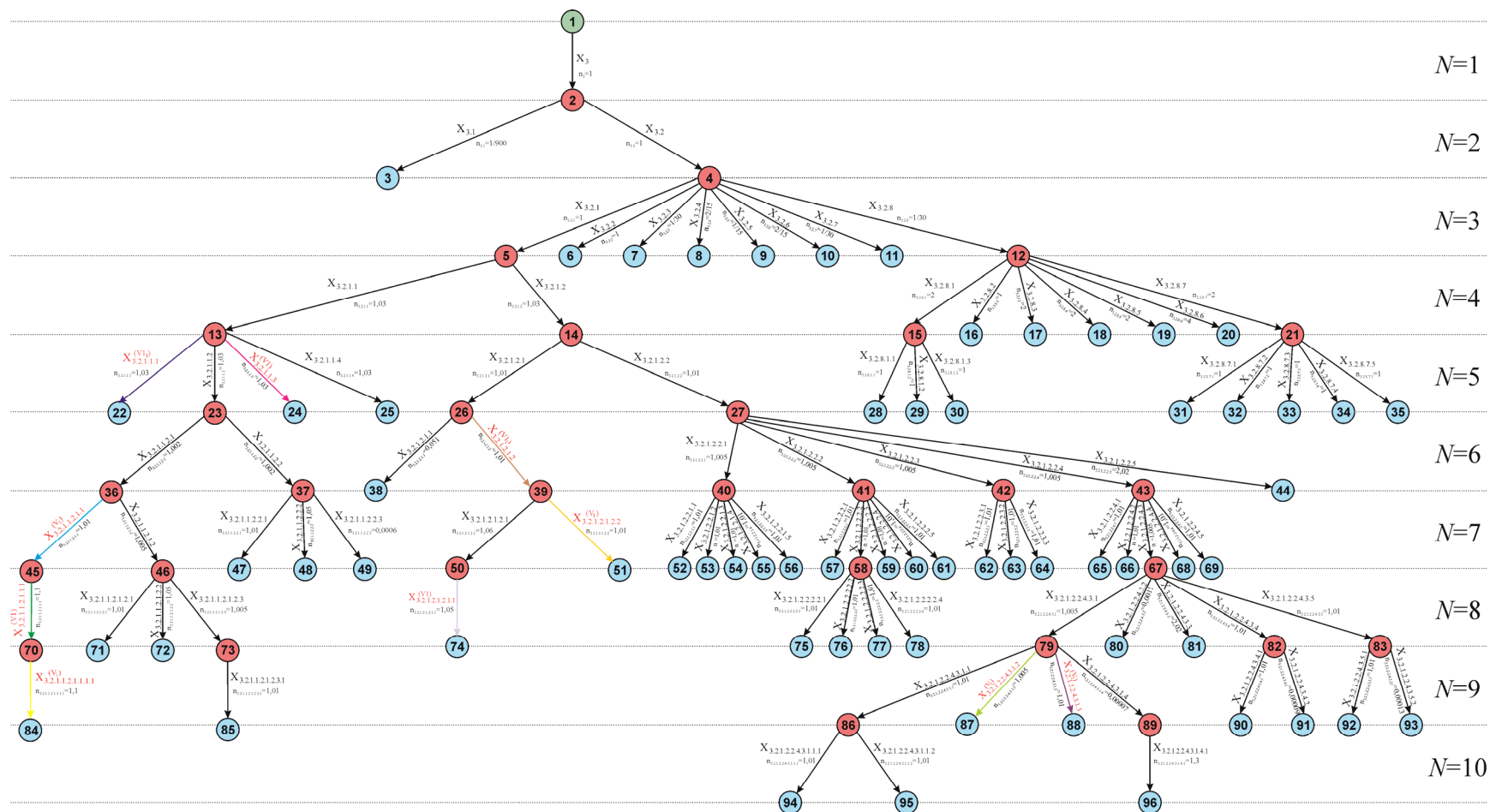
$$X_1 = \{ \{x_1\}, \{x_{1.1}, x_{1.2}\}, \{x_{1.2.1}, x_{1.2.2}, x_{1.2.3}, x_{1.2.4}, x_{1.2.5}, x_{1.2.6}, x_{1.2.7}, x_{1.2.8}\}, \{x_{1.2.1.1}, x_{1.2.1.2}, x_{1.2.1.3}, x_{1.2.1.4}, x_{1.2.1.5}, x_{1.2.1.6}, x_{1.2.1.7}, x_{1.2.1.8}, x_{1.2.1.9}, x_{1.2.1.10}, x_{1.2.1.11}, x_{1.2.1.12}, x_{1.2.1.13}, x_{1.2.1.14}, x_{1.2.1.15}, x_{1.2.1.16}, x_{1.2.1.17}, x_{1.2.1.18}, x_{1.2.1.19}, x_{1.2.1.20}, x_{1.2.1.21}, x_{1.2.1.22}, x_{1.2.1.23}, x_{1.2.1.24}, x_{1.2.1.25}, x_{1.2.1.26}, x_{1.2.1.27}, x_{1.2.1.28}, x_{1.2.1.29}, x_{1.2.1.30}, x_{1.2.1.31}, x_{1.2.1.32}, x_{1.2.1.33}, x_{1.2.1.34}, x_{1.2.1.35}, x_{1.2.1.36}, x_{1.2.1.37}, x_{1.2.1.38}, x_{1.2.1.39}, x_{1.2.1.40}, x_{1.2.1.41}, x_{1.2.1.42}, x_{1.2.1.43}, x_{1.2.1.44}, x_{1.2.1.45}, x_{1.2.1.46}, x_{1.2.1.47}, x_{1.2.1.48}, x_{1.2.1.49}, x_{1.2.1.50}, x_{1.2.1.51}, x_{1.2.1.52}\} \}$$

Слика 95: Оријентисан граф технолошке структуре SP-a X1



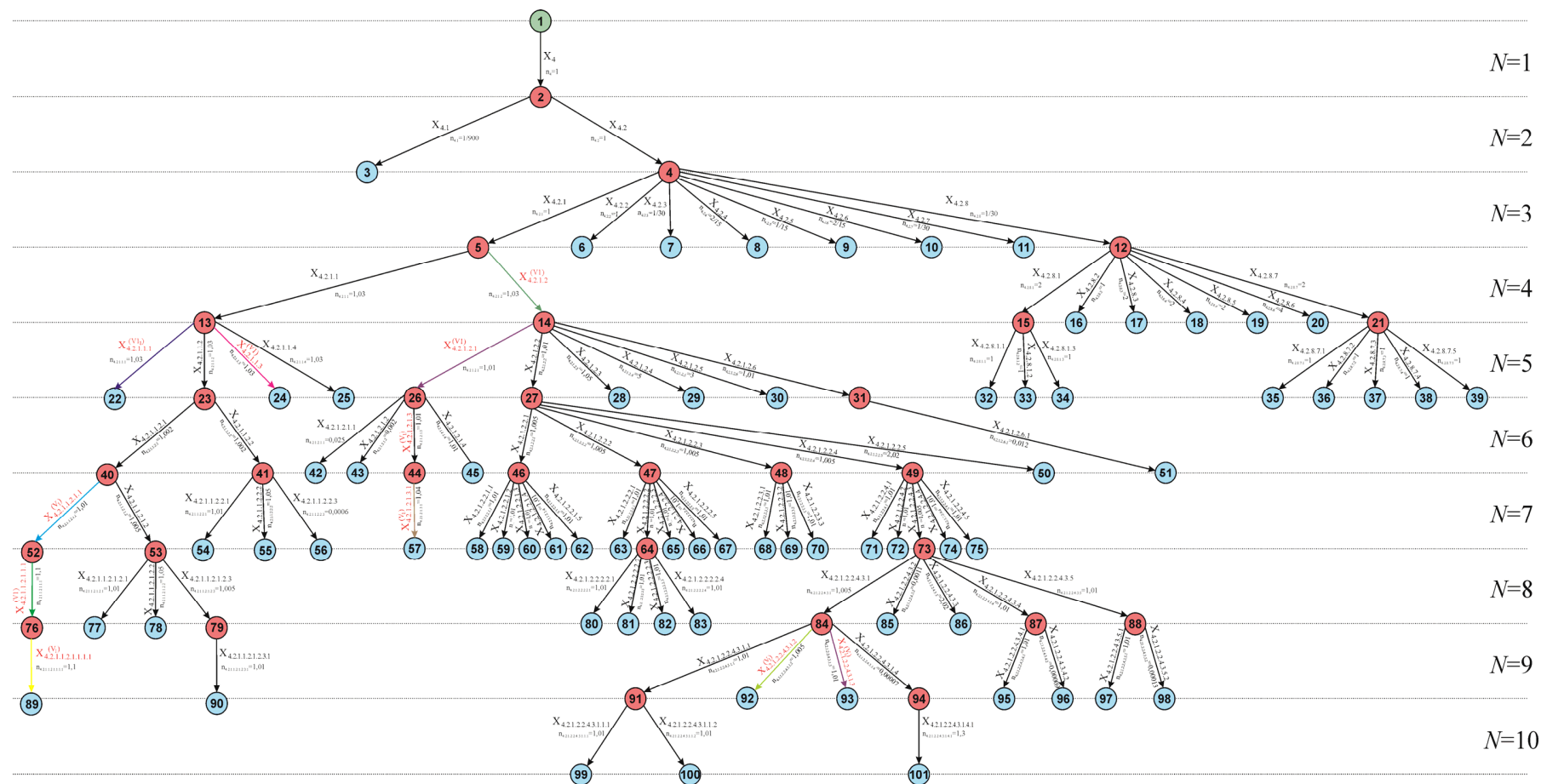
$$X_2 = \{ \{X_2\}, \{X_{2,1}, X_{2,2}\}, \{X_{2,2,1}, X_{2,2,2}, X_{2,2,3}, X_{2,2,4}, X_{2,2,5}, X_{2,2,6}, X_{2,2,7}, X_{2,2,8}\}, \{X_{2,2,1,1}, X_{2,2,1,2}, X_{2,2,1,3}, X_{2,2,1,4}, X_{2,2,1,2,1}, X_{2,2,1,2,2}, X_{2,2,1,2,3}, X_{2,2,1,2,4}, X_{2,2,1,2,5}, X_{2,2,1,2,6}, X_{2,2,1,2,7}, X_{2,2,1,2,8}, X_{2,2,1,2,9}, X_{2,2,1,2,10}, X_{2,2,1,2,11}, X_{2,2,1,2,12}, X_{2,2,1,2,13}, X_{2,2,1,2,14}, X_{2,2,1,2,15}, X_{2,2,1,2,16}, X_{2,2,1,2,17}, X_{2,2,1,2,18}, X_{2,2,1,2,19}, X_{2,2,1,2,20}, X_{2,2,1,2,21}, X_{2,2,1,2,22}, X_{2,2,1,2,23}, X_{2,2,1,2,24}, X_{2,2,1,2,25}, X_{2,2,1,2,26}, X_{2,2,1,2,27}, X_{2,2,1,2,28}, X_{2,2,1,2,29}, X_{2,2,1,2,30}, X_{2,2,1,2,31}, X_{2,2,1,2,32}, X_{2,2,1,2,33}, X_{2,2,1,2,34}, X_{2,2,1,2,35}\}, \{X_{2,2,1,1,1}, X_{2,2,1,1,2}, X_{2,2,1,1,3}, X_{2,2,1,1,4}, X_{2,2,1,1,5}, X_{2,2,1,1,6}, X_{2,2,1,1,7}, X_{2,2,1,1,8}, X_{2,2,1,1,9}, X_{2,2,1,1,10}, X_{2,2,1,1,11}, X_{2,2,1,1,12}, X_{2,2,1,1,13}, X_{2,2,1,1,14}, X_{2,2,1,1,15}, X_{2,2,1,1,16}, X_{2,2,1,1,17}, X_{2,2,1,1,18}, X_{2,2,1,1,19}, X_{2,2,1,1,20}, X_{2,2,1,1,21}, X_{2,2,1,1,22}, X_{2,2,1,1,23}, X_{2,2,1,1,24}, X_{2,2,1,1,25}, X_{2,2,1,1,26}, X_{2,2,1,1,27}, X_{2,2,1,1,28}, X_{2,2,1,1,29}, X_{2,2,1,1,30}, X_{2,2,1,1,31}, X_{2,2,1,1,32}, X_{2,2,1,1,33}, X_{2,2,1,1,34}, X_{2,2,1,1,35}\}, \{X_{2,2,1,1,2,1}, X_{2,2,1,1,2,2}, X_{2,2,1,1,2,3}, X_{2,2,1,1,2,4}, X_{2,2,1,1,2,5}, X_{2,2,1,1,2,6}, X_{2,2,1,1,2,7}, X_{2,2,1,1,2,8}, X_{2,2,1,1,2,9}, X_{2,2,1,1,2,10}, X_{2,2,1,1,2,11}, X_{2,2,1,1,2,12}, X_{2,2,1,1,2,13}, X_{2,2,1,1,2,14}, X_{2,2,1,1,2,15}, X_{2,2,1,1,2,16}, X_{2,2,1,1,2,17}, X_{2,2,1,1,2,18}, X_{2,2,1,1,2,19}, X_{2,2,1,1,2,20}, X_{2,2,1,1,2,21}, X_{2,2,1,1,2,22}, X_{2,2,1,1,2,23}, X_{2,2,1,1,2,24}, X_{2,2,1,1,2,25}, X_{2,2,1,1,2,26}, X_{2,2,1,1,2,27}, X_{2,2,1,1,2,28}, X_{2,2,1,1,2,29}, X_{2,2,1,1,2,30}, X_{2,2,1,1,2,31}, X_{2,2,1,1,2,32}, X_{2,2,1,1,2,33}, X_{2,2,1,1,2,34}, X_{2,2,1,1,2,35}\}, \{X_{2,2,1,1,2,1,1}, X_{2,2,1,1,2,1,2}, X_{2,2,1,1,2,1,3}, X_{2,2,1,1,2,1,4}, X_{2,2,1,1,2,1,5}, X_{2,2,1,1,2,1,6}, X_{2,2,1,1,2,1,7}, X_{2,2,1,1,2,1,8}, X_{2,2,1,1,2,1,9}, X_{2,2,1,1,2,1,10}, X_{2,2,1,1,2,1,11}, X_{2,2,1,1,2,1,12}, X_{2,2,1,1,2,1,13}, X_{2,2,1,1,2,1,14}, X_{2,2,1,1,2,1,15}, X_{2,2,1,1,2,1,16}, X_{2,2,1,1,2,1,17}, X_{2,2,1,1,2,1,18}, X_{2,2,1,1,2,1,19}, X_{2,2,1,1,2,1,20}, X_{2,2,1,1,2,1,21}, X_{2,2,1,1,2,1,22}, X_{2,2,1,1,2,1,23}, X_{2,2,1,1,2,1,24}, X_{2,2,1,1,2,1,25}, X_{2,2,1,1,2,1,26}, X_{2,2,1,1,2,1,27}, X_{2,2,1,1,2,1,28}, X_{2,2,1,1,2,1,29}, X_{2,2,1,1,2,1,30}, X_{2,2,1,1,2,1,31}, X_{2,2,1,1,2,1,32}, X_{2,2,1,1,2,1,33}, X_{2,2,1,1,2,1,34}, X_{2,2,1,1,2,1,35}\} \}$$

Слика 96: Оријентисан граф технолошке структуре SP-a X<sub>2</sub>



$X_3 = \{ \{X_3\}, \{X_{3,1}, X_{3,2}\}, \{X_{3,2,1}, X_{3,2,2}, X_{3,2,3}, X_{3,2,4}, X_{3,2,5}, X_{3,2,6}, X_{3,2,7}, X_{3,2,8}\}, \{X_{3,2,1,1}, X_{3,2,1,2}, X_{3,2,1,3}, X_{3,2,1,4}, X_{3,2,1,5}, X_{3,2,1,6}, X_{3,2,1,7}, X_{3,2,1,8}\}, \{X_{3,2,1,1,1}, X_{3,2,1,1,2}, X_{3,2,1,1,3}, X_{3,2,1,1,4}, X_{3,2,1,1,5}, X_{3,2,1,1,6}, X_{3,2,1,1,7}, X_{3,2,1,1,8}\}, \{X_{3,2,1,1,2,1}, X_{3,2,1,1,2,2}, X_{3,2,1,1,2,3}, X_{3,2,1,1,2,4}, X_{3,2,1,1,2,5}, X_{3,2,1,1,2,6}, X_{3,2,1,1,2,7}, X_{3,2,1,1,2,8}\}, \{X_{3,2,1,1,2,1,1}, X_{3,2,1,1,2,1,2}, X_{3,2,1,1,2,1,3}, X_{3,2,1,1,2,1,4}, X_{3,2,1,1,2,1,5}, X_{3,2,1,1,2,1,6}, X_{3,2,1,1,2,1,7}, X_{3,2,1,1,2,1,8}\}, \{X_{3,2,1,1,2,2,1}, X_{3,2,1,1,2,2,2}, X_{3,2,1,1,2,2,3}, X_{3,2,1,1,2,2,4}, X_{3,2,1,1,2,2,5}, X_{3,2,1,1,2,2,6}, X_{3,2,1,1,2,2,7}, X_{3,2,1,1,2,2,8}\}, \{X_{3,2,1,1,2,3,1}, X_{3,2,1,1,2,3,2}, X_{3,2,1,1,2,3,3}, X_{3,2,1,1,2,3,4}, X_{3,2,1,1,2,3,5}, X_{3,2,1,1,2,3,6}, X_{3,2,1,1,2,3,7}, X_{3,2,1,1,2,3,8}\}, \{X_{3,2,1,1,2,4,1}, X_{3,2,1,1,2,4,2}, X_{3,2,1,1,2,4,3}, X_{3,2,1,1,2,4,4}, X_{3,2,1,1,2,4,5}, X_{3,2,1,1,2,4,6}, X_{3,2,1,1,2,4,7}, X_{3,2,1,1,2,4,8}\}, \{X_{3,2,1,1,2,5,1}, X_{3,2,1,1,2,5,2}, X_{3,2,1,1,2,5,3}, X_{3,2,1,1,2,5,4}, X_{3,2,1,1,2,5,5}, X_{3,2,1,1,2,5,6}, X_{3,2,1,1,2,5,7}, X_{3,2,1,1,2,5,8}\}, \{X_{3,2,1,1,2,6,1}, X_{3,2,1,1,2,6,2}, X_{3,2,1,1,2,6,3}, X_{3,2,1,1,2,6,4}, X_{3,2,1,1,2,6,5}, X_{3,2,1,1,2,6,6}, X_{3,2,1,1,2,6,7}, X_{3,2,1,1,2,6,8}\}, \{X_{3,2,1,1,2,7,1}, X_{3,2,1,1,2,7,2}, X_{3,2,1,1,2,7,3}, X_{3,2,1,1,2,7,4}, X_{3,2,1,1,2,7,5}, X_{3,2,1,1,2,7,6}, X_{3,2,1,1,2,7,7}, X_{3,2,1,1,2,7,8}\}, \{X_{3,2,1,1,2,8,1}, X_{3,2,1,1,2,8,2}, X_{3,2,1,1,2,8,3}, X_{3,2,1,1,2,8,4}, X_{3,2,1,1,2,8,5}, X_{3,2,1,1,2,8,6}, X_{3,2,1,1,2,8,7}, X_{3,2,1,1,2,8,8}\}, \{X_{3,2,1,2,2,1,1}, X_{3,2,1,2,2,1,2}, X_{3,2,1,2,2,1,3}, X_{3,2,1,2,2,1,4}, X_{3,2,1,2,2,1,5}, X_{3,2,1,2,2,1,6}, X_{3,2,1,2,2,1,7}, X_{3,2,1,2,2,1,8}\}, \{X_{3,2,1,2,2,2,1}, X_{3,2,1,2,2,2,2}, X_{3,2,1,2,2,2,3}, X_{3,2,1,2,2,2,4}, X_{3,2,1,2,2,2,5}, X_{3,2,1,2,2,2,6}, X_{3,2,1,2,2,2,7}, X_{3,2,1,2,2,2,8}\}, \{X_{3,2,1,2,2,3,1}, X_{3,2,1,2,2,3,2}, X_{3,2,1,2,2,3,3}, X_{3,2,1,2,2,3,4}, X_{3,2,1,2,2,3,5}, X_{3,2,1,2,2,3,6}, X_{3,2,1,2,2,3,7}, X_{3,2,1,2,2,3,8}\}, \{X_{3,2,1,2,2,4,1}, X_{3,2,1,2,2,4,2}, X_{3,2,1,2,2,4,3}, X_{3,2,1,2,2,4,4}, X_{3,2,1,2,2,4,5}, X_{3,2,1,2,2,4,6}, X_{3,2,1,2,2,4,7}, X_{3,2,1,2,2,4,8}\}, \{X_{3,2,1,2,2,5,1}, X_{3,2,1,2,2,5,2}, X_{3,2,1,2,2,5,3}, X_{3,2,1,2,2,5,4}, X_{3,2,1,2,2,5,5}, X_{3,2,1,2,2,5,6}, X_{3,2,1,2,2,5,7}, X_{3,2,1,2,2,5,8}\}, \{X_{3,2,1,2,2,6,1}, X_{3,2,1,2,2,6,2}, X_{3,2,1,2,2,6,3}, X_{3,2,1,2,2,6,4}, X_{3,2,1,2,2,6,5}, X_{3,2,1,2,2,6,6}, X_{3,2,1,2,2,6,7}, X_{3,2,1,2,2,6,8}\}, \{X_{3,2,1,2,2,7,1}, X_{3,2,1,2,2,7,2}, X_{3,2,1,2,2,7,3}, X_{3,2,1,2,2,7,4}, X_{3,2,1,2,2,7,5}, X_{3,2,1,2,2,7,6}, X_{3,2,1,2,2,7,7}, X_{3,2,1,2,2,7,8}\}, \{X_{3,2,1,2,2,8,1}, X_{3,2,1,2,2,8,2}, X_{3,2,1,2,2,8,3}, X_{3,2,1,2,2,8,4}, X_{3,2,1,2,2,8,5}, X_{3,2,1,2,2,8,6}, X_{3,2,1,2,2,8,7}, X_{3,2,1,2,2,8,8}\}, \{X_{3,2,1,2,2,4,3,1,1}, X_{3,2,1,2,2,4,3,1,2}, X_{3,2,1,2,2,4,3,1,3}, X_{3,2,1,2,2,4,3,1,4}, X_{3,2,1,2,2,4,3,1,5}, X_{3,2,1,2,2,4,3,1,6}, X_{3,2,1,2,2,4,3,1,7}, X_{3,2,1,2,2,4,3,1,8}\} \}$

Слика 97: Оријентисан граф технолошке структуре SP-a X<sub>3</sub>



$X_4 = \{ \{X_4\}, \{X_{4,1}, X_{4,2}\}, \{X_{4,2,1}, X_{4,2,2}, X_{4,2,3}, X_{4,2,4}, X_{4,2,5}, X_{4,2,6}, X_{4,2,7}, X_{4,2,8}\}, \{X_{4,2,1,1}, X_{4,2,1,2}, X_{4,2,1,3}, X_{4,2,1,4}, X_{4,2,1,5}, X_{4,2,1,6}, X_{4,2,1,7}, X_{4,2,1,8}, X_{4,2,1,9}, X_{4,2,1,10}, X_{4,2,1,11}, X_{4,2,1,12}, X_{4,2,1,13}, X_{4,2,1,14}, X_{4,2,1,15}, X_{4,2,1,16}, X_{4,2,1,17}, X_{4,2,1,18}, X_{4,2,1,19}, X_{4,2,1,20}, X_{4,2,1,21}\}, \{X_{4,2,1,1,1}, X_{4,2,1,1,2}, X_{4,2,1,1,3}, X_{4,2,1,1,4}, X_{4,2,1,1,5}, X_{4,2,1,1,6}, X_{4,2,1,1,7}, X_{4,2,1,1,8}, X_{4,2,1,1,9}, X_{4,2,1,1,10}, X_{4,2,1,1,11}, X_{4,2,1,1,12}, X_{4,2,1,1,13}, X_{4,2,1,1,14}, X_{4,2,1,1,15}, X_{4,2,1,1,16}, X_{4,2,1,1,17}, X_{4,2,1,1,18}, X_{4,2,1,1,19}, X_{4,2,1,1,20}, X_{4,2,1,1,21}\}, \{X_{4,2,1,1,1,1}, X_{4,2,1,1,1,2}, X_{4,2,1,1,1,3}, X_{4,2,1,1,1,4}, X_{4,2,1,1,1,5}, X_{4,2,1,1,1,6}, X_{4,2,1,1,1,7}, X_{4,2,1,1,1,8}, X_{4,2,1,1,1,9}, X_{4,2,1,1,1,10}, X_{4,2,1,1,1,11}, X_{4,2,1,1,1,12}, X_{4,2,1,1,1,13}, X_{4,2,1,1,1,14}, X_{4,2,1,1,1,15}, X_{4,2,1,1,1,16}, X_{4,2,1,1,1,17}, X_{4,2,1,1,1,18}, X_{4,2,1,1,1,19}, X_{4,2,1,1,1,20}, X_{4,2,1,1,1,21}\}, \{X_{4,2,1,1,1,1,1}, X_{4,2,1,1,1,1,2}, X_{4,2,1,1,1,1,3}, X_{4,2,1,1,1,1,4}, X_{4,2,1,1,1,1,5}, X_{4,2,1,1,1,1,6}, X_{4,2,1,1,1,1,7}, X_{4,2,1,1,1,1,8}, X_{4,2,1,1,1,1,9}, X_{4,2,1,1,1,1,10}, X_{4,2,1,1,1,1,11}, X_{4,2,1,1,1,1,12}, X_{4,2,1,1,1,1,13}, X_{4,2,1,1,1,1,14}, X_{4,2,1,1,1,1,15}, X_{4,2,1,1,1,1,16}, X_{4,2,1,1,1,1,17}, X_{4,2,1,1,1,1,18}, X_{4,2,1,1,1,1,19}, X_{4,2,1,1,1,1,20}, X_{4,2,1,1,1,1,21}\}, \{X_{4,2,1,1,1,1,1,1}, X_{4,2,1,1,1,1,1,2}, X_{4,2,1,1,1,1,1,3}, X_{4,2,1,1,1,1,1,4}, X_{4,2,1,1,1,1,1,5}, X_{4,2,1,1,1,1,1,6}, X_{4,2,1,1,1,1,1,7}, X_{4,2,1,1,1,1,1,8}, X_{4,2,1,1,1,1,1,9}, X_{4,2,1,1,1,1,1,10}, X_{4,2,1,1,1,1,1,11}, X_{4,2,1,1,1,1,1,12}, X_{4,2,1,1,1,1,1,13}, X_{4,2,1,1,1,1,1,14}, X_{4,2,1,1,1,1,1,15}, X_{4,2,1,1,1,1,1,16}, X_{4,2,1,1,1,1,1,17}, X_{4,2,1,1,1,1,1,18}, X_{4,2,1,1,1,1,1,19}, X_{4,2,1,1,1,1,1,20}, X_{4,2,1,1,1,1,1,21}\}, \{X_{4,2,1,1,1,1,1,1,1}, X_{4,2,1,1,1,1,1,1,2}, X_{4,2,1,1,1,1,1,1,3}, X_{4,2,1,1,1,1,1,1,4}, X_{4,2,1,1,1,1,1,1,5}, X_{4,2,1,1,1,1,1,1,6}, X_{4,2,1,1,1,1,1,1,7}, X_{4,2,1,1,1,1,1,1,8}, X_{4,2,1,1,1,1,1,1,9}, X_{4,2,1,1,1,1,1,1,10}, X_{4,2,1,1,1,1,1,1,11}, X_{4,2,1,1,1,1,1,1,12}, X_{4,2,1,1,1,1,1,1,13}, X_{4,2,1,1,1,1,1,1,14}, X_{4,2,1,1,1,1,1,1,15}, X_{4,2,1,1,1,1,1,1,16}, X_{4,2,1,1,1,1,1,1,17}, X_{4,2,1,1,1,1,1,1,18}, X_{4,2,1,1,1,1,1,1,19}, X_{4,2,1,1,1,1,1,1,20}, X_{4,2,1,1,1,1,1,1,21}\} \}$

Слика 98: Оријентисан граф технолошке структуре SP-a X4

#### 4.4 Резултати друге фазе експерименталних истраживања

Истраживачки приступ другој фази експерименталних истраживања креиран је на основу развијених теоријских модела у поглављима 3.3, 3.4, 3.5 и 3.8 и анализи података доступних у оквиру постојећих информационих токова. Улазни параметри за примену модела и резултати истраживања приказаће се по концептуалним целинама респектујући логичан след активности. Након оптимизације производне серије *SP*-а приступиће се прорачуну количина и прорачуну *TC*-а *PF*-а које припадају производима репрезентантима. На основу карактеристичних путева у графу (поглавље 4.3) прорачунаће се трајање *TC*-а производа у зависности од оптималних количина и начина *KPR*. Стварно трајање *PC*-а утврдиће се након избора реперних тачака које детерминишу процес производње. На крају ће се анализирати показатељи проточности базирани на временској димензији стварног и технолошког циклуса.

##### 4.4.1 Примена модела за оптимизацију и планирање

Прорачун оптималне серије *SP*-а ( $X_i, i = \overline{1,4}$ ) базира се на: методологији развијеној у тачки 3.4.2, формулама (279)-(285), уговореним количинама (табела 19) и роковима испоруке, оптималним варијантама израде, нормативима рада и материјала и планираним вредностима норма часа. Нормативи рада и материјала дефинисани су на основу технолошке документације и графова *SP*-а.

$$(109) \Rightarrow VN\check{C} = \frac{2.064.198.773 - (7.850.708 + 418.605.019)}{1.426.368} = 1.148,2 \text{ din/n}\check{c} \quad (279)$$

$$K_r = 0,49 \Rightarrow V_r = \frac{T_r}{\sum N\check{C}} \cdot K_r = \frac{820.364.917}{1.426.368} \cdot 0,49 = 281,8 \text{ din/n}\check{c} \quad (280)$$

$$V_{ov} + V_{oc} = VN\check{C} - V_r = 1.148,2 - 281,8 = 866,4 \quad (281)$$

$$V_{ov} = \frac{T_o}{\sum N\check{C}} \cdot K_{ov}, \quad V_{oc} = \frac{T_o}{\sum N\check{C}} \cdot K_{oc}, \quad K_{ov} = 0,22 \Rightarrow K_{oc} = 1 - K_{ov} = 0,78 \quad (282)$$

$$(108) \Rightarrow T_o = C - (T_m + T_r \cdot K_r) = 1.235.764.237 \text{ din/god} \quad (283)$$

$$V_{ov} = \frac{1.235.764.237}{1.426.368} \cdot 0,22 = 190,6 \text{ din/n}\check{c}, \quad V_{oc} = \frac{1.235.764.237}{1.426.368} \cdot 0,78 = 675,8 \text{ din/n}\check{c} \quad (284)$$

$$T_{ov} = 271.868.132,14 \text{ din/god}, \quad T_{oc} = 963.896.104,86 \text{ din/god} \quad (285)$$

У табели 25 приказани су нормативи материјала, јединични трошкови директног материјала и нормативи рада за производ  $X_1$ . Подаци за оптимизацију производне серије и укупног броја серија приказани су у табели 26.

Табела 25: Нормативи времена и јединични трошкови директног материјала за  $X_1$ 

Р.б.	PF-a		Материјал				Време	
	Ознака	$m_i$	Ознака	јм	Норматив	Цена (din/јм)	$t_k$ (нч/ком)	$T_{pz}$ (нч/сер)
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	$x_1$	1,0000	$S_1$	m	0,033	7,30	0,00125	-
2	$x_{1.1}$	0,0011	$S_2$	m <sup>2</sup>	0,061	16.350,0	2	-
			$S_3$	m <sup>2</sup>	0,017	16.350,0		
			$S_4$	kom	54	2,40		
			$S_5$	kom	30	2,40		
3	$x_{1.2}$	1,0000	$S_6$	m	0,04	1.100,00	0,0253	2,0
			$S_7$	kg	0,0000667	1.400,00		
			$S_8$	kom	0,0002667	320,00		
			$K_1$	kom	0,0333	12,36		
			$K_2$	kom	0,0333	3,31		
4	$x_{1.2.2}$	1,0000	$K_3$	kom	0,0333	3,50	0,04217	7,0
			$S_9$	kg	0,004	1.173,00		
			$K_4$	kom	1	4,80		
			$K_5$	kom	1	1,10		
5	$x_{1.2.3}$	0,0330	$K_6$	kom	4,02	0,80	0,0765	-
			$S_{10}$	kg	0,25	1.932,00		
6	$x_{1.2.4}$	0,1330	$S_{11}$	m <sup>2</sup>	0,07	63,50	0,01074	3,0
7	$x_{1.2.5}$	0,0670	$S_{11}$	m <sup>2</sup>	0,175	63,50	0,01134	3,0
8	$x_{1.2.6}$	0,1330	$S_{11}$	m <sup>2</sup>	0,0476	63,50	0,00806	3,0
9	$x_{1.2.7}$	0,0330	$S_{11}$	m <sup>2</sup>	0,07	63,50	0,01597	3,0
10	$x_{1.2.8}$	0,0330	$S_{12}$	kom	28	0,55	0,72333	1,0
			$S_{13}$	kom	24	2,25		
			$S_{14}$	kom	10	1,00		
11	$x_{1.2.8.3}$	0,0660	$S_{15}$	kg	0,043	82,00	0,01176	19,5
12	$x_{1.2.8.4}$	0,0660	$S_{20}$	m <sup>3</sup>	0,0005	35.450,0	0,12157	8,0
13	$x_{1.2.8.5}$	0,0660	$S_{16}$	kg	0,085	338,00	0,05544	0,5
14	$x_{1.2.8.6}$	0,1320	$S_{17}$	kg	0,212	82,00	0,030975	24,0
15	$x_{1.2.8.2}$	0,0330	$S_{14}$	kom	16	1,00	0,92955	34,5
			$S_{19}$	m <sup>3</sup>	0,021	16.250,0		
			$S_{20}$	m <sup>3</sup>	0,0023	35.450,0		
			$S_{21}$	kom	16	1,10		
			$S_{22}$	kom	0,006	110,00		
16	$x_{1.2.8.1}$	0,0660	-	-	-	-	0,031064	18,5
17	$x_{1.2.8.1.1}$	0,0660	$S_{17}$	kg	0,09	82,00	0,00585	8,5
18	$x_{1.2.8.1.2}$	0,0660	$S_{17}$	kg	0,09	82,00	0,00585	8,5
19	$x_{1.2.8.1.3}$	0,0660	$S_{26}$	kg	0,0155	80,00	0,00181	4,0
20	$x_{1.2.8.7}$	0,0660	$S_{18}$	kom	2	0,72	0,09212	10,0
21	$x_{1.2.8.7.1}$	0,0660	$S_{23}$	kg	0,034	82,00	0,00517	8,5
22	$x_{1.2.8.7.2}$	0,0660	$S_{17}$	kg	0,03925	82,00	0,011864	9,0
23	$x_{1.2.8.7.3}$	0,0660	$S_{24}$	kg	0,00163	85,00	0,00128	4,0
24	$x_{1.2.8.7.4}$	0,0660	$S_{23}$	kg	0,029	82,00	0,004656	8,5
25	$x_{1.2.8.7.5}$	0,0660	$S_{25}$	kg	0,0175	80,00	0,00676	14,0
26	$x_{1.2.1}$	1,0000	$K_7$	kg	0,13	1.043,60	0,05568	8,0
27	$x_{1.2.1.1}$	1,0300	-	-	-	-	0,048	4,5
28	$x_{1.2.1.1.1}$	1,0609	$S_{40}$	kg	0,53	130,00	0,34739	225,0
29	$x_{1.2.1.1.3}$	1,0609	$K_9$	kg	0,002	620,00	0,004725	10,5
30	$x_{1.2.1.1.4}$	1,0609	$S_{50}$	kg	0,0036	262,50	0,00218	4,5
31	$x_{1.2.1.1.2}$	1,0609	-	-	-	-	0,03234	4,0
32	$x_{1.2.1.1.2.1}$	1,0630	-	-	-	-	0,01386	4,0
33	$x_{1.2.1.1.2.1.1}$	1,0737	-	-	-	-	0,092927	33,5
34	$x_{1.2.1.1.2.1.1.1}$	1,1810	-	-	-	-	0,017275	57,5
35	$x_{1.2.1.1.2.1.1.1.1}$	1,2991	$S_{44}$	kg	0,02	130,00	0,01251	30,5
36	$x_{1.2.1.1.2.1.2}$	1,0683	-	-	-	-	0,0231	4,0
37	$x_{1.2.1.1.2.1.2.1}$	1,0790	$S_{41}$	kg	0,0067	647,94	0,017005	31,0

1	2	3	4	5	6	7	8	9	
38	X <sub>1,2,1,1,2,1,2,2</sub>	1,1218	S <sub>42</sub>	kg	0,0006	810,35	0,00263	4,0	
39	X <sub>1,2,1,1,2,1,2,3</sub>	1,0737	K <sub>8</sub>	kom	1,005	5,16	0,01848	4,0	
40	X <sub>1,2,1,1,2,1,2,3,1</sub>	1,0844	S <sub>43</sub>	kg	0,005	522,36	0,03046	75,0	
41	X <sub>1,2,1,1,2,2</sub>	1,0630	-	-	-	-	0,03591	4,0	
42	X <sub>1,2,1,1,2,2,1</sub>	1,0737	S <sub>45</sub>	kg	0,0028	679,69	0,013733	26,0	
43	X <sub>1,2,1,1,2,2,2</sub>	1,1162	S <sub>46</sub>	kg	0,0002	1.107,75	0,00777	4,5	
44	X <sub>1,2,1,1,2,2,3</sub>	0,0006	S <sub>37</sub> S <sub>47</sub> S <sub>48</sub> S <sub>49</sub>	lit kg kg kg	0,0003 0,579 0,603 0,0324	95,00 1.430,72 1.235,45 326,95	41,16875	-	
45	X <sub>1,2,1,2</sub>	1,0300	-	-	-	-	0,02744	11,5	
46	X <sub>1,2,1,2,2</sub>	1,0609	S <sub>27</sub>	kg	0,055	83,00	0,0695	91,5	
47	X <sub>1,2,1,2,1</sub>	1,0506	S <sub>28</sub> S <sub>29</sub>	kg kg	0,0004 0,0001	3.599,44 4.657,50	0,1223	8,0	
48	X <sub>1,2,1,2,1,1</sub>	0,0105	S <sub>30</sub> S <sub>31</sub> S <sub>32</sub> S <sub>33</sub>	kg kg kg kg	0,29 0,12 0,45 0,18	856,58 1.894,05 829,50 1.122,29	0,63956	3,0	
49	X <sub>1,2,1,2,1,2</sub>	0,0020	S <sub>30</sub> S <sub>34</sub> S <sub>35</sub> S <sub>36</sub> S <sub>37</sub>	kg kg kg kg lit	0,276 0,6 0,288 0,12 0,2	856,58 1.195,54 207,00 195,96 95,00	2,13125	5,0	
50	X <sub>1,2,1,2,1,3</sub>	1,0716	S <sub>38</sub>	kg	0,691	145,00	0,24833	150,0	
51	X <sub>1,2,1,2,1,3,1</sub>	1,1788	S <sub>39</sub>	kg	0,043	1.021,10	0,01445	22,0	
Укупно на нивоу SP			$W_m = 513,93$				$t_k = 1,5369$	$T_{pz} = 1027,5$	

Вредности норма часа израчунате су на основу анализе укупних расхода у 2009. години (прилог 7). Расподела осталих трошкова извршена је на основу учешћа производа у физичком обиму производње.

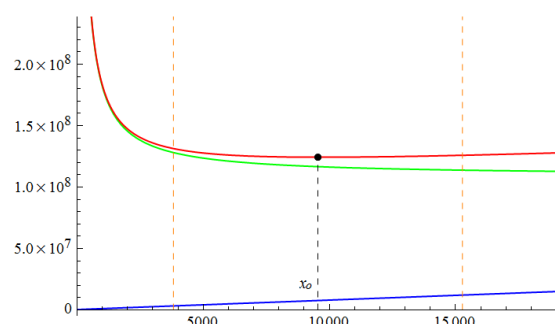
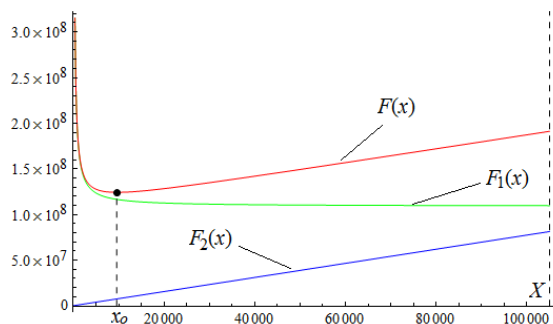
Табела 26: Подаци за прорачун оптималних серија сложених производа  $X_i, i = \overline{1,4}$

SP	Уговорена количина X	$t_k$ nč/kom			$T_{pz}$ nč/ser		$W_m$ din/kom	din/nč				kal. dani	
		макс	опт	мин	макс	мин		V <sub>NC</sub>	V <sub>r</sub>	V <sub>oc</sub>	V <sub>ov</sub>	T <sub>G</sub>	T
X <sub>1</sub>	105000	1,5427	<b>1,5369</b>	1,5062	<b>1027,5</b>	945,5	513,93	1148,2	281,8	675,8	190,6	365	455
X <sub>2</sub>	420000	1,3923	<b>1,3865</b>	1,3251	<b>995,5</b>	864,0	493,12						
X <sub>3</sub>	420000	2,6409	<b>2,6050</b>	2,5698	<b>1759,5</b>	1621,5	971,84						
X <sub>4</sub>	105000	2,8909	<b>2,8170</b>	2,7668	<b>1708,0</b>	1585,5	964,98						

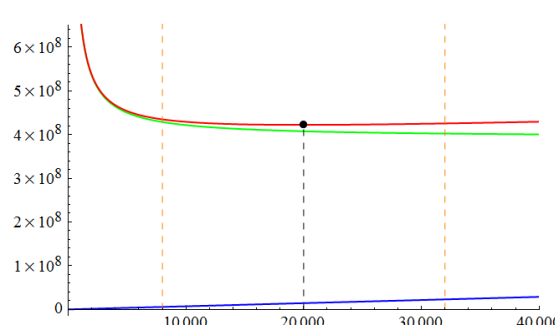
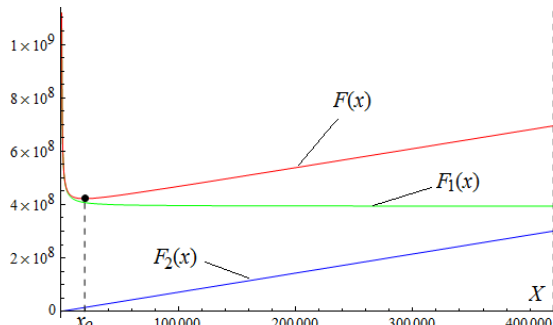
Помоћу коефицијента  $K_r$ , релација (280), дефинише се удео бруто зарада производних радника у укупним бруто зарадама свих радника. Вредност овог коефицијента утврђена је на основу анализе бруто исплаћених зарада радника по радним јединицама (прилог 8). Коефицијенти  $K_{ov}$  и  $K_{oc}$ , релација (282), узимају у обзир процентуалну заступљеност варијабилних и константних трошкова у укупним осталим трошковима. Вредности ових коефицијената добијене су на



основу анализе осталих трошкова, по контима, и њиховим разврставањем на фиксни и варијабилни део помоћу одговарајућих пондера. У прилогу 9 дат је програм за израчунавање оптималне производне серије а у табели 27 упоредни приказ прорачунатих, усвојених и остварених (реализованих) вредности. На сликама 99 и 101 приказане су функције парцијалних ( $F_1(x)$ ,  $F_2(x)$ ) и укупних ( $F(x)$ ) трошкова, оптималне серије  $x_o$  и уговорен обим производње ( $X$ ) артикла  $X_1$  и  $X_2$ . На сликама 100 и 102 приказана је осетљивост функција укупних трошкова у интервалу  $\pm 60\%$  у односу на оптималне вредности  $x_o$ . У табели 28 дате су оптималне количине  $PF$ -а артикла  $X_1$ , а на слици 103 изглед Поруџбинске карте.



Слика 99:  $x_o = 9545 \text{ kom/ser}$ ,  $X_1 = 105000 \text{ kom}$  Слика 100: Осетљивост  $X_1: \pm 0,6 x_o$



Слика 101:  $x_o = 20000 \text{ kom/ser}$ ,  $X_2 = 420000 \text{ kom}$  Слика 102: Осетљивост  $X_2: \pm 0,6 x_o$

Табела 27: Оптималне (прорачунате, усвојене) и реализоване вредности  $x_o$  и  $N$

SP	Прорачунате вредности		Усвојене вредности		Остварене (реализоване) вредности	
	$x_i$	$N_i$	$x_o$	$N$	$N$	распони $\rightarrow$ број серија
I	2	3	4	5	6	7
$X_1$	9.713	10,81	<b>9.545</b>	<b>11</b>	8	$9000 \leq x_o \leq 13700 \rightarrow 6 \wedge 18000 \leq x_o \leq 22000 \rightarrow 2$
$X_2$	19.871	21,14	<b>20.000</b>	<b>21</b>	24	$8100 \leq x_o \leq 21000 \rightarrow 22 \wedge 5000 \leq x_o \leq 6940 \rightarrow 2$
$X_3$	19.073	22,02	<b>19.091</b>	<b>22</b>	22	$14400 \leq x_o \leq 26100 \rightarrow 21 \wedge x_o = 900 \rightarrow 1$
$X_4$	9.203	11,41	<b>9.545</b>	<b>11</b>	9	$4500 \leq x_o \leq 15400 \rightarrow 7 \wedge 19800 \leq x_o \leq 19900 \rightarrow 2$

Табела 28: Прорачун количина  $PF$ -а потребних за 9.545 ком/серији  $SP$ -а  $X_1$ 

Р. б.	Ознака $PF$	Технолошки поступак			$m_i$	Оптималне количине	
		Ознака	$n_i$	$\xi_i$ (%)		Релација (76)	Релација (83)
1	2	3	4	5	6	7	8
1	$X_1$	88369	1	0,00	1	9545	9545
2	$X_{1,1}$	-	0,0011	0,00	0,0011	11	11
3	$X_{1,2}$	88312	1	0,00	1	9545	9545
4	$X_{1,2,1}$	81461	1	0,00	1	9545	9545
5	$X_{1,2,2}$	84229	1	0,00	1	9545	9545
6	$X_{1,2,3}$	88310	0,0333	0,00	0,0333	318	318
7	$X_{1,2,4}$	88959	0,1333	0,00	0,1333	1273	1273
8	$X_{1,2,5}$	88958	0,0667	0,00	0,0667	637	637
9	$X_{1,2,6}$	88960	0,1333	0,00	0,1333	1273	1273
10	$X_{1,2,7}$	88961	0,0333	0,00	0,0333	318	318
11	$X_{1,2,8}$	84240	0,0333	0,00	0,0333	318	318
12	$X_{1,2,1,1}$	85632	1,03	0,00	1,03	9832	9832
13	$X_{1,2,1,2}$	81463	1,03	0,00	1,03	9832	9832
14	$X_{1,2,8,1}$	73544	2	1,00	0,0666	636	643
15	$X_{1,2,8,2}$	84238	1	0,00	0,0333	318	318
16	$X_{1,2,8,3}$	73520	2	1,50	0,0666	636	646
17	$X_{1,2,8,4}$	78293	2	0,00	0,0666	636	636
18	$X_{1,2,8,5}$	78553	2	0,00	0,0666	636	636
19	$X_{1,2,8,6}$	86156	4	2,00	0,1332	1272	1298
20	$X_{1,2,8,7}$	73528	2	2,00	0,0666	636	649
21	$X_{1,2,1,1,1}$	85450C	1,03	8,30	1,0609	10127	11043
22	$X_{1,2,1,1,2}$	86792	1,03	0,00	1,0609	10127	10127
23	$X_{1,2,1,1,3}$	78316	1,03	2,50	1,0609	10127	10386
24	$X_{1,2,1,1,4}$	82745	1,03	0,00	1,0609	10127	10127
25	$X_{1,2,1,2,1}$	86895	1,02	0,00	1,0506	10028	10028
26	$X_{1,2,1,2,2}$	84078	1,03	4,50	1,0609	10127	10604
27	$X_{1,2,8,1,1}$	73538	1	0,00	0,0666	636	643
28	$X_{1,2,8,1,2}$	73538	1	0,00	0,0666	636	643
29	$X_{1,2,8,1,3}$	73542	1	0,00	0,0666	636	643
30	$X_{1,2,8,7,1}$	73503	1	0,00	0,0666	636	649
31	$X_{1,2,8,7,2}$	73507	1	1,00	0,0666	636	656
32	$X_{1,2,8,7,3}$	73511	1	0,00	0,0666	636	649
33	$X_{1,2,8,7,4}$	73513	1	2,00	0,0666	636	662
34	$X_{1,2,8,7,5}$	73517	1	1,00	0,0666	636	656
35	$X_{1,2,1,1,2,1}$	86790	1,002	0,00	1,063022	10147	10147
36	$X_{1,2,1,1,2,2}$	85441	1,002	0,00	1,063022	10147	10147
37	$X_{1,2,1,2,1,1}$	86949	0,01	0,00	0,01051	101	101
38	$X_{1,2,1,2,1,2}$	77599	0,0019	0,00	0,001996	20	20
39	$X_{1,2,1,2,1,3}$	84082	1,02	10,7	1,071612	10229	11455
40	$X_{1,2,1,1,2,1,1}$	87777A	1,01	8,00	1,0736520	10249	11140
41	$X_{1,2,1,1,2,1,2}$	86786	1,005	0,00	1,0683369	10198	10198
42	$X_{1,2,1,1,2,2,1}$	83431	1,01	2,00	1,0736520	10249	10458
43	$X_{1,2,1,1,2,2,2}$	83432	1,05	1,00	1,1161729	10654	10762
44	$X_{1,2,1,1,2,2,3}$	79509	0,0006	0,00	0,0006378	7	7
45	$X_{1,2,1,2,1,3,1}$	84083	1,1	1,00	1,1787732	11252	12727
46	$X_{1,2,1,1,2,1,1,1}$	85353	1,1	3,20	1,1810172	11273	12659
47	$X_{1,2,1,1,2,1,2,1}$	83429	1,01	3,00	1,0790203	10300	10618
48	$X_{1,2,1,1,2,1,2,2}$	83430	1,05	0,00	1,1217538	10708	10708
49	$X_{1,2,1,1,2,1,2,3}$	86788	1,005	0,00	1,0736786	10249	10249
50	$X_{1,2,1,1,2,1,1,1,1}$	87486	1,1	2,00	1,2991189	12401	14209
51	$X_{1,2,1,1,2,1,2,3,1}$	86160	1,01	7,00	1,0844154	10351	11130

## ПОРУЏБИНСКА КАРТА

Шифра	Назив				Бр. пртежа	РЈ					
156417165	Водећи прстен				6417165	1160					
Шифра материјала	Назив материјала				Норматив за 1000 ком.						
209784272	CuNi-5 $\phi$ 36x3x3000 S <sub>32</sub>				43 kg						
Варијација израде	Назив опреме		Тип	Капацитет	План. комада	Оств. комада					
	V1 Аутомат		Schwerdtfeger	2800	282750	65%					
	V2 Револвер струг		INDEX B52	1000	152250	35%					
			X <sub>1.2.1.2.1.3.1</sub>	X <sub>2.2.1.2.1.1</sub>	X <sub>3.2.1.2.1.2.2</sub>	X <sub>4.2.1.2.1.3.1</sub>					
Залихе у магацину	Инвентарисани РИ		Уговорене обавезе		% шкарта	ПЛАНИРАНО					
	Сер.	Количина	Артикул	Количина							
/	/	/	X <sub>1</sub>	33660	Планир. 1,0	435000					
			X <sub>2</sub>	66000							
			X <sub>3</sub>	187410							
			X <sub>4</sub>	39960							
			Укупне обавезе	327030	Оствар. 1,0	Оптимална величина РИ. 5000 - 30000					
		Предато магацину	Планиране залихе	60000							
Планиране количине по месецима											
I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Варијанта	Датум захтева	РИ		Кумулат. наручено	Резултати по РИ			Кумулат. добрих комада	Лансирано		
		Бр.	Колич.		Добри комади	Шкарт обраде	Шкарт матер.		Датум	Потпис	
V2	15.02.	01	15000	15000	14828	172	/	14828	18.02.'10.		
V2	17.03.	02	13500	28500	13360	140	/	28188	24.03.'10.		
V2	16.04.	03	20000	48500	20000	0	/	48188	23.04.'10.		
V2	16.04.	04	10000	58500	9997	3	/	58185	23.04.'10.		
V1	22.04.	05	20000	78500	19832	168	/	78017	29.04.'10.		
V1	03.05.	06	20000	98500	19740	260	/	97757	11.05.'10.		
V1	05.05.	07	20000	118500	20000	0	/	117757	11.05.'10.		
V1	28.07.	08	20000	138500	20000	0	/	137757	04.08.'10.		
V1	29.07.	09	20000	158500	19977	23	/	157734	04.08.'10.		
V1	18.10.	10	30000	188500	29947	53	/	187681	22.10.'10.		
V1	01.12.	11	30000	218500	29945	55	/	217626	08.12.'10.		
V1	01.12.	12	30000	248500	29560	440	/	247186	08.12.'10.		
V1	03.12.	13	30000	278500	29560	440	/	276746	08.12.'10.		

Слика 103: Изглед документа Поручбинска карта за PF-у: Водећи прстен

Мала осетљивост функције укупних трошкова (око 1% у интервалу  $x_o \pm 0,5 \cdot x_o$ ) директна је последица вредности норма часа  $V_{oc}$  (табела 26), која служи за расподелу фиксних трошкова. Парето анализа (табела 18) указује да трошкови бруто зарада и накнада заузимају прву позицију у структури укупних трошкова. Пошто је удео бруто зарада режијских радника 51% у односу на укупне зараде, може се закључити, да су ови трошкови велики и да доминантно утичу на вредност  $V_{oc}$ . Ова констатација може да буде од значаја у случају када величину производне серије треба прилагодити лотовима испоруке или при дефинисању серија  $RN$ -а  $PF$ -а које се уграђују у више производа (*водећи прстен*, слика 103).

#### 4.4.2 Прорачун технолошког и утврђивање стварног циклуса

Резултати прорачуна  $TC$ -а производа репрезентаната и припадајућих  $PF$ -а приказани су у табелама 29-33. Прорачунате су вредности  $TC$ -а за сва три начина  $KPR$  у процесу производње (поглавље 3.5), при чему је коефицијент протока  $K_t$  добијен на основу трајања  $TC$ -а по комбинованом начину кретања. У пакету  $RN$ -а, за серијску производњу, заступљен је документ *Термин карта* који не садржи термине почетака и завршетака производње. Због тога је трајање  $PC$ -а утврђено на основу осталих докумената  $RN$ -а (требовања, примопредајнице) и извештаја из производње и техничке контроле.

Осенчене  $PF$ -е у табелама 29-32 дефинишу критичне путеве у графу  $SP$ -а. Технолошке циклусе производа  $X_1$  и  $X_4$  (табеле 29 и 32) детерминише по један критичан пут који се састоји од 7  $PF$ -а. Код производа  $X_2$  и  $X_3$  (табеле 30, 31)  $TC$ -е детерминишу по два критична пута који се, у зависности од начина  $KPR$ , састоје од 6-8  $PF$ -а. Вредности  $TC$ -а израчунате су на бази оптималних количина.

Стварно трајање циклуса повезано је са лабораторним серијама финалних производа (табела 33, колона 2.), механичким и лабораторним серијама делова и серијама  $RN$ -а на основу којих су реализовани процеси производње (табеле 29-31, колоне 10-12). Табела 29 садржи податке који се односе на производ  $X_1$  и његове  $PF$ -е. Стварно трајање циклуса (колона 12) се односи на  $PF$ -е које су уграђене у серију метка 04/11 (табела 33). У табели 30 дати су резултати истраживања који су везани за производ  $X_2$ . У колони 12 приказано је трајање циклуса  $PF$ -а које су уграђене у серију 01/12  $SP$ -а  $X_2$ .

Табела 29: Технолошко и стварно трајање циклуса PF-а SP-а X<sub>1</sub> (x<sub>o</sub> = 9545 ком)

Р.б.	PF					TC, kd/ser			PC, kd/ser			K <sub>t</sub>
	Ознака	TO			x <sub>o</sub>	t <sub>t</sub> <sup>(p)</sup>	t <sub>t</sub> <sup>(k)</sup>	t <sub>t</sub> <sup>(u)</sup>	Ознака		t <sub>cs</sub>	
		n	t <sub>min</sub> cmh/kom	t <sub>max</sub> cmh/kom					RN	серија		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13=12/8
1	x <sub>1</sub>	3	28	28	9545	1	1	1	0511	0411-II	6	6,00
2	x <sub>1.1</sub>	-	-	-	11	-	-	-	-	-	-	-
3	x <sub>1.2</sub>	10	60	250	9545	3	4	18	0511	0411-II	6	1,50
4	x <sub>1.2.1</sub>	14	192	288	9545	3	4	35	0511	0411-II	5	1,25
5	x <sub>1.2.2</sub>	12	238	357	9545	4	5	31	1011,1111	-	290	58,00
6	x <sub>1.2.3</sub>	3	300	1500	318	1	1	1	0911	-	57	57,00
7	x <sub>1.2.4</sub>	7	20	357	1273	1	1	2	0711,0811	-	5	5,00
8	x <sub>1.2.5</sub>	7	50	357	637	1	1	1	0711,0811	-	5	5,00
9	x <sub>1.2.6</sub>	7	20	250	1273	1	1	1	0711,0811	-	5	5,00
10	x <sub>1.2.7</sub>	8	30	500	318	1	1	1	0711,0811	-	42	42,00
11	x <sub>1.2.8</sub>	13	1818	27273	318	9	11	22	-	0411	-	-
12	x <sub>1.2.1.1</sub>	10	300	300	9832	3	3	28	-	0311	73	24,30
13	x <sub>1.2.1.2</sub>	9	150	230	9832	3	3	17	-	0411-I,II	27	9,00
14	x <sub>1.2.8.1</sub>	10	46	600	643	1	1	2	-	-	-	-
15	x <sub>1.2.8.2</sub>	46	300	4615	318	2	4	22	-	-	-	-
16	x <sub>1.2.8.3</sub>	11	6	308	646	1	1	1	1311	-	38	38,00
17	x <sub>1.2.8.4</sub>	16	154	1846	636	2	3	7	1311	-	39	39,00
18	x <sub>1.2.8.5</sub>	6	308	3550	636	3	3	4	-	-	-	-
19	x <sub>1.2.8.6</sub>	11	48	923	1298	2	2	4	1111,1211	-	28	14,00
20	x <sub>1.2.8.7</sub>	11	92	1875	649	2	3	5	-	-	-	-
21	x <sub>1.2.1.1.1</sub>	70	115	1154	11043	13	81	274	0511-0911	0311	274	3,38
22	x <sub>1.2.1.1.2</sub>	5	462	462	10127	5	5	23	-	0611,0711	42	8,40
23	x <sub>1.2.1.1.3</sub>	10	9	185	10386	2	3	5	0211,0311	1811-2211	88	29,33
24	x <sub>1.2.1.1.4</sub>	4	17	150	10127	2	2	2	0411-0611	1211-1611	225	112,50
25	x <sub>1.2.1.2.1</sub>	13	230	800	10028	8	14	94	-	0411-I,II	37	2,64
26	x <sub>1.2.1.2.2</sub>	36	23	666	10604	7	16	59	16,18,19/11	25,28,29/11	143	8,94
27	x <sub>1.2.8.1.1</sub>	6	24	200	643	1	1	1	1111	-	25	25,00
28	x <sub>1.2.8.1.2</sub>	6	24	200	643	1	1	1	1111	-	25	25,00
29	x <sub>1.2.8.1.3</sub>	3	150	150	643	1	1	1	1111	-	26	26,00
30	x <sub>1.2.8.7.1</sub>	6	6	185	649	1	1	1	1111	-	8	8,00
31	x <sub>1.2.8.7.2</sub>	7	16	625	656	1	1	1	1111	-	8	8,00
32	x <sub>1.2.8.7.3</sub>	3	107	107	649	1	1	1	1011,1111	-	28	28,00
33	x <sub>1.2.8.7.4</sub>	6	5	185	662	1	1	1	1011,1111	-	8	8,00
34	x <sub>1.2.8.7.5</sub>	7	10	185	656	1	1	1	1111	-	31	31,00
35	x <sub>1.2.1.1.2.1</sub>	3	462	462	10147	5	5	14	0811,1011	0611,0711	55	11,00
36	x <sub>1.2.1.1.2.2</sub>	6	513	513	10147	5	5	30	0811,1011	0611,0711	51	10,20
37	x <sub>1.2.1.2.1.1</sub>	7	1875	8333	101	1	1	4	-	0411-I,II	-	-
38	x <sub>1.2.1.2.1.2</sub>	14	3750	25000	20	1	1	6	-	0111,0211	-	-
39	x <sub>1.2.1.2.1.3</sub>	43	75	4232	11455	46	93	222	2,5-7/11	0111,0211	294	3,16
40	x <sub>1.2.1.1.2.1.1</sub>	22	311	1364	11140	15	62	92	18/10,3-7/11	1511-2111	361	5,82
41	x <sub>1.2.1.1.2.1.2</sub>	4	462	462	10198	5	5	18	0811,1011	0611,0711	55	11,00
42	x <sub>1.2.1.1.2.2.1</sub>	17	7	308	10458	4	7	14	1010-1210	0511-1111	125	17,86
43	x <sub>1.2.1.1.2.2.2</sub>	7	10	385	10762	4	6	8	0311-0511	1611-2211	56	9,33
44	x <sub>1.2.1.1.2.2.3</sub>	13	938000	1875000	7	30	30	131	-	1411-1911	-	-
45	x <sub>1.2.1.2.1.3.1</sub>	8	60	750	12727	10	13	18	-	-	78	6,00
46	x <sub>1.2.1.1.2.1.1.1</sub>	12	32	288	12659	4	4	21	-	-	-	-
47	x <sub>1.2.1.1.2.1.2.1</sub>	22	7	300	10618	4	9	16	10/10,01/11	1111-1711	173	19,22
48	x <sub>1.2.1.1.2.1.2.2</sub>	7	10	125	10708	2	2	3	0910-1110	1011-1611	406	203,00
49	x <sub>1.2.1.1.2.1.2.3</sub>	4	462	462	10249	5	5	18	0811,1011	0611,0711	59	11,80
50	x <sub>1.2.1.1.2.1.1.1.1</sub>	7	468	531	14209	8	15	17	-	-	-	-
51	x <sub>1.2.1.1.2.1.2.3.1</sub>	15	38	577	11130	7	15	31	11/10,01/11	0611-1211	245	16,33
T <sub>t</sub>	$T_t^{(p)} = 46(kd/ser)$ , $T_t^{(k)} = 112(kd/ser)$ , $T_t^{(u)} = 385(kd/ser)$ Критичан пут (PF-e): P <sub>46,1</sub> = (x <sub>1.2.1.2.1.3.1</sub> , x <sub>1.2.1.2.1.3</sub> , x <sub>1.2.1.2.1</sub> , x <sub>1.2.1.2</sub> , x <sub>1.2.1</sub> , x <sub>1.2</sub> , x <sub>1</sub> ), N = 7											

Табела 30: Технолошко и стварно трајање циклуса PF-а SP-а X<sub>2</sub> (x<sub>0</sub> = 20000 ком)

Р.б.	PF					TC, kd/ser			PC, kd/ser			K <sub>t</sub>
	Ознака	TO			x <sub>0</sub>	t <sub>t</sub> <sup>(p)</sup>	t <sub>t</sub> <sup>(k)</sup>	t <sub>t</sub> <sup>(u)</sup>	Ознака		t <sub>cs</sub>	
		n	t <sub>min</sub> cmh/kom	t <sub>max</sub> cmh/kom					RN	серија		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13=12/8
1	x <sub>2</sub>	3	28	28	20000	1	1	2	0112,0212	0112	18	18,00
2	x <sub>2,1</sub>	-	-	-	22	-	-	-	-	-	-	-
3	x <sub>2,2</sub>	10	60	250	20000	5	8	38	0112,0212	0112	19	2,38
4	x <sub>2,2,1</sub>	14	192	288	20000	6	8	73	0112,0212	0112	19	2,38
5	x <sub>2,2,2</sub>	12	238	357	20000	7	9	63	-	-	-	-
6	x <sub>2,2,3</sub>	3	300	1500	666	1	1	2	-	-	-	-
7	x <sub>2,2,4</sub>	7	20	357	2666	1	2	3	0112	-	6	3,00
8	x <sub>2,2,5</sub>	7	50	357	1334	1	1	2	0212	-	2	2,00
9	x <sub>2,2,6</sub>	7	20	250	2666	1	1	2	0112	-	6	6,00
10	x <sub>2,2,7</sub>	8	30	500	666	1	1	1	0212	-	2	2,00
11	x <sub>2,2,8</sub>	13	1818	27273	666	18	23	45	-	0112	-	-
12	x <sub>2,2,1,1</sub>	10	300	300	20600	6	6	59	-	0611,0112	112	18,67
13	x <sub>2,2,1,2</sub>	14	188	375	20600	8	13	65	1811,0112	1811,0112	64	4,92
14	x <sub>2,2,8,1</sub>	10	46	600	1346	1	2	4	-	-	-	-
15	x <sub>2,2,8,2</sub>	46	300	4615	666	3	8	45	-	-	-	-
16	x <sub>2,2,8,3</sub>	11	6	308	1353	1	1	2	1911,2011	-	36	36,00
17	x <sub>2,2,8,4</sub>	16	154	1846	1332	3	5	14	2011-2311	-	35	7,00
18	x <sub>2,2,8,5</sub>	6	308	3550	1332	5	5	7	-	-	-	-
19	x <sub>2,2,8,6</sub>	11	48	923	2719	3	4	8	1811,1911	-	62	15,50
20	x <sub>2,2,8,7</sub>	11	92	1875	1360	3	6	10	-	-	-	-
21	x <sub>2,2,1,1,1</sub>	70	115	1154	23139	26	170	574	1811-2511	0611,0112	190	1,12
22	x <sub>2,2,1,1,2</sub>	5	462	462	21218	10	10	47	-	0212,0312	20	2,00
23	x <sub>2,2,1,1,3</sub>	10	9	185	21763	4	6	10	0611,1-2/12	0712-1212	63	10,50
24	x <sub>2,2,1,1,4</sub>	4	17	150	21218	4	4	5	0811,0112	0712-1212	25	6,25
25	x <sub>2,2,1,2,1</sub>	41	75	4232	22406	90	164	407	2911-0212	1411-0112	185	1,13
26	x <sub>2,2,1,2,2</sub>	36	23	666	21787	14	31	120	2011-2511	3111-0212	161	5,19
27	x <sub>2,2,8,1,1</sub>	6	24	200	1346	1	1	1	1511	-	40	40,00
28	x <sub>2,2,8,1,2</sub>	6	24	200	1346	1	1	1	1511	-	35	35,00
29	x <sub>2,2,8,1,3</sub>	3	150	150	1346	1	1	1	1511	-	60	60,00
30	x <sub>2,2,8,7,1</sub>	6	6	185	1360	1	1	1	1511	-	92	92,00
31	x <sub>2,2,8,7,2</sub>	7	16	625	1373	1	1	2	1511	-	92	92,00
32	x <sub>2,2,8,7,3</sub>	3	107	107	1360	1	1	1	1511	-	60	60,00
33	x <sub>2,2,8,7,4</sub>	6	5	185	1387	1	1	1	1511	-	92	92,00
34	x <sub>2,2,8,7,5</sub>	7	10	185	1373	1	1	1	1511	-	164	164,0
35	x <sub>2,2,1,1,2,1</sub>	3	462	462	21261	10	10	28	0212,0312	0212,0312	31	3,10
36	x <sub>2,2,1,1,2,2</sub>	6	513	513	21261	11	11	62	0212-0412	0212,0312	62	5,64
37	x <sub>2,2,1,2,1,1</sub>	8	60	750	24896	18	25	35	0112-0312	-	150	6,00
38	x <sub>2,2,1,1,2,1,1</sub>	22	311	1364	23341	31	130	192	1111-1511	2911-3711	215	1,65
39	x <sub>2,2,1,1,2,1,2</sub>	4	462	462	21367	10	10	38	0312,0412	0212,0312	45	4,50
40	x <sub>2,2,1,1,2,2,1</sub>	17	7	308	21912	7	15	29	0111-0311	1911-2711	63	4,20
41	x <sub>2,2,1,1,2,2,2</sub>	7	10	385	22549	9	12	17	0811-1011	3011-3811	180	15,00
42	x <sub>2,2,1,1,2,2,3</sub>	13	938000	1875000	13	40	40	243	-	0511-1211	-	-
43	x <sub>2,2,1,1,2,1,1,1</sub>	12	32	288	26524	8	9	44	-	-	-	-
44	x <sub>2,2,1,1,2,1,2,1</sub>	22	7	300	22248	7	19	33	0411-0711	2511-3311	185	9,74
45	x <sub>2,2,1,1,2,1,2,2</sub>	7	10	125	22436	3	5	6	0111-0311	0412-1212	329	65,80
46	x <sub>2,2,1,1,2,1,2,3</sub>	4	462	462	21474	10	10	38	0711,0811	0212,0312	176	17,60
47	x <sub>2,2,1,1,2,1,1,1,1</sub>	7	468	531	29771	15	30	36	-	-	-	-
48	x <sub>2,2,1,1,2,1,2,3,1</sub>	15	38	577	23321	13	30	64	0411-0611	2011-2711	221	7,37
T <sub>t</sub>	$T_t^{(p)} = 90 \text{ (kd/ser)}, T_t^{(k)} = 189 \text{ (kd/ser)}$ Критичан пут (PF-e): P <sub>38,1</sub> = (x <sub>2,2,1,2,1,1</sub> , x <sub>2,2,1,2,1</sub> , x <sub>2,2,1,2</sub> , x <sub>2,2,1</sub> , x <sub>2,2</sub> , x <sub>2</sub> ), N = 6											
	$T_t^{(u)} = 744 \text{ (kd/ser)}$ Критичан пут (PF-e): P <sub>22,1</sub> = (x <sub>2,2,1,1,1</sub> , x <sub>2,2,1,1</sub> , x <sub>2,2,1</sub> , x <sub>2,2</sub> , x <sub>2</sub> ), N = 5											

Табела 31: Технолошко и стварно трајање циклуса PF-а SP-а X<sub>3</sub> (x<sub>o</sub> = 19091 ком)

Р.б.	PF					TC, kd/ser			PC, kd/ser			K <sub>t</sub>
	Ознака	TO			x <sub>o</sub>	t <sub>t</sub> <sup>(p)</sup>	t <sub>t</sub> <sup>(k)</sup>	t <sub>t</sub> <sup>(u)</sup>	Ознака		t <sub>cs</sub>	
		n	t <sub>min</sub> cmh/kom	t <sub>max</sub> cmh/kom					RN	серија		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13=12/8
1	X <sub>3</sub>	3	28	28	19091	1	1	2	0812	0312	12	12,00
2	X <sub>3,1</sub>	-	-	-	22	-	-	-	-	-	-	-
3	X <sub>3,2</sub>	10	60	250	19091	5	8	36	0812	0312	13	1,63
4	X <sub>3,2,1</sub>	14	192	288	19091	6	7	70	0712,0812	0312	13	1,86
5	X <sub>3,2,2</sub>	12	238	357	19091	7	9	61	-	-	-	-
6	X <sub>3,2,3</sub>	3	300	1500	636	1	1	2	-	-	-	-
7	X <sub>3,2,4</sub>	7	20	357	2545	1	2	3	0812	-	15	7,50
8	X <sub>3,2,5</sub>	7	50	357	1274	1	1	2	0812	-	10	10,00
9	X <sub>3,2,6</sub>	7	20	250	2545	1	1	2	0812,0912	-	7	7,00
10	X <sub>3,2,7</sub>	8	30	500	636	1	1	1	0912	-	4	4,00
11	X <sub>3,2,8</sub>	13	1818	27273	636	17	22	43	-	0312	-	-
12	X <sub>3,2,1,1</sub>	10	300	300	19664	6	6	56	0812,0912	0212,0312	158	26,33
13	X <sub>3,2,1,2</sub>	11	150	242	19664	5	7	42	-	0312	13	1,86
14	X <sub>3,2,8,1</sub>	10	46	600	1285	1	2	4	-	-	-	-
15	X <sub>3,2,8,2</sub>	46	300	4615	636	3	8	43	-	-	-	-
16	X <sub>3,2,8,3</sub>	11	6	308	1291	1	1	2	-	-	-	-
17	X <sub>3,2,8,4</sub>	16	154	1846	1272	3	5	14	-	-	-	-
18	X <sub>3,2,8,5</sub>	6	308	3550	1272	5	5	7	-	-	-	-
19	X <sub>3,2,8,6</sub>	11	48	923	2595	3	4	7	-	-	-	-
20	X <sub>3,2,8,7</sub>	11	92	1875	1298	3	6	10	-	-	-	-
21	X <sub>3,2,1,1,1</sub>	70	115	1154	22087	25	162	548	0212-0712	0212,0312	195	1,20
22	X <sub>3,2,1,1,2</sub>	5	462	462	20254	9	9	45	-	0412,0512	65	7,22
23	X <sub>3,2,1,1,3</sub>	10	9	185	20773	4	5	9	0212-0412	1612-2112	43	8,60
24	X <sub>3,2,1,1,4</sub>	4	17	150	20254	3	3	4	0212,0312	1612-2112	30	10,00
25	X <sub>3,2,1,2,1</sub>	8	1923	1923	19861	37	37	255	-	0312	59	1,59
26	X <sub>3,2,1,2,2</sub>	16	230	308	19861	6	6	81	-	0112,0212	19	3,17
27	X <sub>3,2,8,1,1</sub>	6	24	200	1285	1	1	1	-	-	-	-
28	X <sub>3,2,8,1,2</sub>	6	24	200	1285	1	1	1	-	-	-	-
29	X <sub>3,2,8,1,3</sub>	3	150	150	1285	1	1	1	-	-	-	-
30	X <sub>3,2,8,7,1</sub>	6	6	185	1298	1	1	1	-	-	-	-
31	X <sub>3,2,8,7,2</sub>	7	16	625	1311	1	1	2	-	-	-	-
32	X <sub>3,2,8,7,3</sub>	3	107	107	1298	1	1	1	-	-	-	-
33	X <sub>3,2,8,7,4</sub>	6	5	185	1324	1	1	1	-	-	-	-
34	X <sub>3,2,8,7,5</sub>	7	10	185	1311	1	1	1	-	-	-	-
35	X <sub>3,2,1,1,2,1</sub>	3	462	462	20295	9	9	27	0612-0812	0412,0512	93	10,33
36	X <sub>3,2,1,1,2,2</sub>	6	513	513	20295	10	10	60	0612-0812	0412,0512	93	9,30
37	X <sub>3,2,1,2,1,1</sub>	8	3750	17860	1013	18	18	72	-	-	-	-
38	X <sub>3,2,1,2,1,2</sub>	38	214	2537	21431	52	130	326	0211-0412	0211-0412	220	1,69
39	X <sub>3,2,1,2,2,1</sub>	9	230	230	19960	5	5	36	0512-0712	0112,0212	42	8,40
40	X <sub>3,2,1,2,2,2</sub>	9	230	308	19960	6	6	47	-	0112,0212	63	10,50
41	X <sub>3,2,1,2,2,3</sub>	11	462	462	19960	9	9	90	-	0112,0212	28	3,11
42	X <sub>3,2,1,2,2,4</sub>	10	230	230	19960	5	5	41	0312-0512	0112,0212	42	8,40
43	X <sub>3,2,1,2,2,5</sub>	4	3	75	40118	3	3	4	0111	0111-0411	40	13,33
44	X <sub>3,2,1,1,2,1,1</sub>	22	311	1364	22280	29	124	183	1411-1711	3711-0612	191	1,54
45	X <sub>3,2,1,1,2,1,2</sub>	4	462	462	20396	9	9	36	0612-0812	0412,0512	93	10,33
46	X <sub>3,2,1,1,2,2,1</sub>	17	7	308	20916	7	14	28	0311-0511	2711-3411	128	9,14
47	X <sub>3,2,1,1,2,2,2</sub>	7	10	385	21525	8	12	16	1011-1211	3811-4511	112	9,33
48	X <sub>3,2,1,1,2,2,3</sub>	13	938000	1875000	13	40	40	243	-	-	-	-
49	X <sub>3,2,1,2,1,2,1</sub>	22	46	200	23541	5	12	42	-	0211-0412	-	-
50	X <sub>3,2,1,2,1,2,2</sub>	8	60	750	21864	16	22	30	0312-0712	-	145	6,59
51	X <sub>3,2,1,2,2,1,1</sub>	13	10	455	20783	9	24	30	0410-0610	0710-1010	93	3,88
52	X <sub>3,2,1,2,2,1,2</sub>	7	6	187	21000	4	6	8	0210,0111	0512-0812	835	139,17
53	X <sub>3,2,1,2,2,1,3</sub>	11	10	255	20783	6	14	18	0410,0111	0411-0711	49	3,50
54	X <sub>3,2,1,2,2,1,4</sub>	16	15	250	23172	6	16	31	0210-0111	0910-0312	890	55,63
55	X <sub>3,2,1,2,2,1,5</sub>	11	10	761	20783	15	24	28	0111,0211	0112-0412	127	5,29

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13=12/8
56	X <sub>3.2.1.2.2.2.1</sub>	14	63	368	20783	8	21	37	0210-0410	0610-1010	230	10,95
57	X <sub>3.2.1.2.2.2.2</sub>	7	462	462	20160	9	9	48	-	0112,0212	74	8,22
58	X <sub>3.2.1.2.2.2.3</sub>	8	2	150	20363	3	4	6	0210,0310	0710-1110	151	37,75
59	X <sub>3.2.1.2.2.2.4</sub>	5	2	75	20160	2	2	3	0210	0710-1110	99	49,50
60	X <sub>3.2.1.2.2.2.5</sub>	9	16	300	20160	6	8	14	0310,0410	0610-1010	195	24,38
61	X <sub>3.2.1.2.2.3.1</sub>	21	156	3136	21447	64	136	199	0610-0311	0112,0212	762	5,60
62	X <sub>3.2.1.2.2.3.2</sub>	21	30	400	20698	8	17	53	0710-0311	0111-0212	408	24,00
63	X <sub>3.2.1.2.2.3.3</sub>	8	57	480	20783	10	14	20	0510-0810	0611-0911	760	54,29
64	X <sub>3.2.1.2.2.4.1</sub>	9	12	266	20891	6	10	19	0410-0111	0710-0212	672	67,20
65	X <sub>3.2.1.2.2.4.2</sub>	7	6	96	22400	3	4	7	0210-0111	0610-0112	685	171,25
66	X <sub>3.2.1.2.2.4.3</sub>	30	462	462	20060	9	9	257	-	0512-0912	34	3,78
67	X <sub>3.2.1.2.2.4.4</sub>	12	6	320	20571	7	17	20	0310-0510	0510-0311	177	10,41
68	X <sub>3.2.1.2.2.4.5</sub>	4	4	116	20160	3	3	3	0310,0111	0610-0311	627	209,00
69	X <sub>3.2.1.1.2.1.1.1</sub>	12	32	288	25318	7	8	42	-	-	-	-
70	X <sub>3.2.1.1.2.1.2.1</sub>	22	7	300	21237	7	18	31	0611-0911	3311-3911	127	7,06
71	X <sub>3.2.1.1.2.1.2.2</sub>	7	10	125	21416	3	4	6	0311-0511	1212-1912	378	94,50
72	X <sub>3.2.1.1.2.1.2.3</sub>	4	462	462	20498	9	9	36	0612-0812	0412,0512	93	10,33
73	X <sub>3.2.1.1.2.1.2.1.1</sub>	6	58	1056	24967	25	28	55	-	-	-	-
74	X <sub>3.2.1.2.2.2.2.1</sub>	12	13	640	21210	13	22	38	0310,0410	0611-0312	455	20,68
75	X <sub>3.2.1.2.2.2.2.2</sub>	7	15	300	20361	6	9	11	0211,0311	1711-2111	144	16,00
76	X <sub>3.2.1.2.2.2.2.3</sub>	8	3	150	20361	3	6	8	0310-0510	0610-0311	528	88,00
77	X <sub>3.2.1.2.2.2.2.4</sub>	10	10	300	20361	6	8	18	0310-0610	0810-1210	287	35,88
78	X <sub>3.2.1.2.2.4.3.1</sub>	14	462	462	20160	9	9	117	-	0512-0912	40	4,44
79	X <sub>3.2.1.2.2.4.3.2</sub>	2	500000	500000	23	12	12	22	-	1012-1912	-	-
80	X <sub>3.2.1.2.2.4.3.3</sub>	3	150	150	40521	6	6	7	0410-0211	0610-0412	604	100,67
81	X <sub>3.2.1.2.2.4.3.4</sub>	7	462	462	20261	9	9	55	-	0512-0912	44	4,89
82	X <sub>3.2.1.2.2.4.3.5</sub>	7	462	462	20261	9	9	55	-	0512-0912	44	4,89
83	X <sub>3.2.1.1.2.1.1.1.1</sub>	7	468	531	28418	15	29	34	-	-	-	-
84	X <sub>3.2.1.1.2.1.2.3.1</sub>	15	38	577	22261	13	29	61	0611-0911	0112-0712	264	9,10
85	X <sub>3.2.1.2.2.4.3.1.1</sub>	5	462	462	20362	9	9	38	0212-0512	0512-0912	36	4,00
86	X <sub>3.2.1.2.2.4.3.1.2</sub>	37	179	1202	23532	27	115	319	0410-0111	0212-0712	810	7,04
87	X <sub>3.2.1.2.2.4.3.1.3</sub>	9	50	400	20992	8	14	18	0310,0111	0710-0211	530	37,86
88	X <sub>3.2.1.2.2.4.3.1.4</sub>	8	750000	6818000	2	53	53	92	-	-	-	-
89	X <sub>3.2.1.2.2.4.3.4.1</sub>	13	3	417	21769	9	21	31	0310-0111	0610-0112	831	39,57
90	X <sub>3.2.1.2.2.4.3.4.2</sub>	2	1250000	1250000	2	4	4	5	-	0312-0512	-	-
91	X <sub>3.2.1.2.2.4.3.5.1</sub>	14	3	417	21769	9	21	35	0310-0111	0610-0411	465	22,14
92	X <sub>3.2.1.2.2.4.3.5.2</sub>	2	1250000	1250000	3	5	5	8	-	0312-0512	-	-
93	X <sub>3.2.1.2.2.4.3.1.1.1</sub>	9	13	253	21202	6	13	17	0210-0410	0610-1010	93	7,15
94	X <sub>3.2.1.2.2.4.3.1.1.2</sub>	7	18	500	20985	10	10	16	0111	0510-0411	19	1,90
95	X <sub>3.2.1.2.2.4.3.1.4.1</sub>	3	3750000	7500000	2	25	28	35	-	-	-	-
$T_t$	$T_t^{(p)} = 64 (kd/ser)$											
	Критичан пут (PF-e): $P_{62,1} = (X_{3.2.1.2.2.3.1}, X_{3.2.1.2.2.3}, X_{3.2.1.2.2}, X_{3.2.1.2}, X_{3.2.1}, X_{3.2}, X_3), N = 7$											
$T_t$	$T_t^{(k)} = 182 (kd/ser), T_t^{(u)} = 728 (kd/ser)$											
	Критичан пут: $P_{74,1} = (X_{3.2.1.2.1.2.1.1}, X_{3.2.1.2.1.2.1}, X_{3.2.1.2.1.2}, X_{3.2.1.2.1}, X_{3.2.1.2}, X_{3.2.1}, X_{3.2}, X_3), N = 8$											

У табели 31 дати су резултати истраживања технолошког и стварног циклуса производа  $X_3$ . Стварно трајање циклуса и коефицијент протока односи се на PF-e које су уграђене у серију финалног производа 03/12. Технолошки циклус SP-a по узастопном и комбинованом начину KPR детерминисан је са 8 PF-a које се налазе на критичном путу  $P_{74,1}$ . Уколико је заступљен паралелан начин KPR, трајање циклуса SP-a зависи од 7 PF-a које образују критичан пут у графу  $P_{62,1}$ .



Табела 32: Технолошко и стварно трајање циклуса PF-а SP-а X<sub>4</sub> (x<sub>o</sub> = 9545 ком)

Р.б.	PF					TC, kd/ser			PC, kd/ser			K <sub>t</sub>
	Ознака	TO			x <sub>o</sub>	t <sub>t</sub> <sup>(p)</sup>	t <sub>t</sub> <sup>(k)</sup>	t <sub>t</sub> <sup>(u)</sup>	Ознака		t <sub>cs</sub>	
		n	t <sub>min</sub> cmh/kom	t <sub>max</sub> cmh/kom					RN	серија		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13=12/8
1	X <sub>4</sub>	3	28	28	9545	1	1	1	0212	0112-I	6	6,00
2	X <sub>4,1</sub>	-	-	-	11	-	-	-	-	-	-	-
3	X <sub>4,2</sub>	10	60	250	9545	3	4	18	0212	0112-I	6	1,50
4	X <sub>4,2,1</sub>	15	192	288	9545	3	5	36	0212	0112-I	6	1,20
5	X <sub>4,2,2</sub>	12	238	357	9545	4	5	31	-	-	-	-
6	X <sub>4,2,3</sub>	3	300	1500	318	1	1	1	-	-	-	-
7	X <sub>4,2,4</sub>	7	20	357	1273	1	1	2	0112,0212	-	8	8,00
8	X <sub>4,2,5</sub>	7	50	357	637	1	1	1	0212,0312	-	3	3,00
9	X <sub>4,2,6</sub>	7	20	250	1273	1	1	1	0212	-	5	5,00
10	X <sub>4,2,7</sub>	8	30	500	318	1	1	1	0312	-	2	2,00
11	X <sub>4,2,8</sub>	13	1818	27273	318	9	11	22	-	0112	-	-
12	X <sub>4,2,1,1</sub>	10	300	300	9832	3	3	28	0412,0512	0611	175	58,33
13	X <sub>4,2,1,2</sub>	20	115	462	9832	5	7	57	-	0112-I	8	1,14
14	X <sub>4,2,8,1</sub>	10	46	600	643	1	1	2	-	-	-	-
15	X <sub>4,2,8,2</sub>	46	300	4615	318	2	4	22	-	-	-	-
16	X <sub>4,2,8,3</sub>	11	6	308	646	1	1	1	2011	-	25	25,00
17	X <sub>4,2,8,4</sub>	16	154	1846	636	2	3	7	2211-2411	-	30	10,00
18	X <sub>4,2,8,5</sub>	6	308	3550	636	3	3	4	-	-	-	-
19	X <sub>4,2,8,6</sub>	11	48	923	1298	2	2	4	1911	-	47	23,50
20	X <sub>4,2,8,7</sub>	11	92	1875	649	2	3	5	-	-	-	-
21	X <sub>4,2,1,1,1</sub>	70	115	1154	11043	13	81	274	1811-2211	0611	183	2,26
22	X <sub>4,2,1,1,2</sub>	5	462	462	10127	5	5	23	-	0112,0212	36	7,20
23	X <sub>4,2,1,1,3</sub>	10	9	185	10386	2	3	5	0511-0112	0512-0912	61	20,33
24	X <sub>4,2,1,1,4</sub>	4	17	150	10127	2	2	2	0711-0112	0512-0912	25	12,50
25	X <sub>4,2,1,2,1</sub>	25	50	1500	9930	15	31	254	0212	0112-I	45	1,45
26	X <sub>4,2,1,2,2</sub>	16	230	308	9930	3	3	41	-	0111-I	12	4,00
27	X <sub>4,2,1,2,3</sub>	4	4	120	10323	2	2	2	0111	0311,0411	12	6,00
28	X <sub>4,2,1,2,4</sub>	4	2	75	49157	4	4	5	-	0308	-	-
29	X <sub>4,2,1,2,5</sub>	4	2	75	29643	3	3	3	0111	0111,0211	14	4,67
30	X <sub>4,2,1,2,6</sub>	9	385	385	9930	4	7	27	0611,0711	0611,0112	30	4,29
31	X <sub>4,2,8,1,1</sub>	6	24	200	643	1	1	1	1511	-	40	40,00
32	X <sub>4,2,8,1,2</sub>	6	24	200	643	1	1	1	1611	-	30	30,00
33	X <sub>4,2,8,1,3</sub>	3	150	150	643	1	1	1	1511	-	60	60,00
34	X <sub>4,2,8,7,1</sub>	6	6	185	649	1	1	1	1511	-	92	92,00
35	X <sub>4,2,8,7,2</sub>	7	16	625	656	1	1	1	1611	-	70	70,00
36	X <sub>4,2,8,7,3</sub>	3	107	107	649	1	1	1	1511	-	60	60,00
37	X <sub>4,2,8,7,4</sub>	6	5	185	662	1	1	1	1511	-	92	92,00
38	X <sub>4,2,8,7,5</sub>	7	10	185	656	1	1	1	1611	-	135	135,0
39	X <sub>4,2,1,1,2,1</sub>	3	462	462	10147	5	5	14	0112-0312	0112,0212	48	9,60
40	X <sub>4,2,1,1,2,2</sub>	6	513	513	10147	5	5	30	0112-0312	0112,0212	47	9,40
41	X <sub>4,2,1,2,1,1</sub>	7	1875	8333	249	2	2	10	-	0112	-	-
42	X <sub>4,2,1,2,1,2</sub>	14	3750	25000	20	1	1	6	-	0112	-	-
43	X <sub>4,2,1,2,1,3</sub>	46	75	4518	11282	49	127	265	1011-0112	0311,0112	164	1,29
44	X <sub>4,2,1,2,1,4</sub>	4	3	86	10090	1	1	2	0111	0311,0411	3	3,00
45	X <sub>4,2,1,2,2,1</sub>	9	230	230	9980	3	3	18	0410	0111-I	87	29,00
46	X <sub>4,2,1,2,2,2</sub>	9	230	308	9980	3	3	24	-	0210,0111	728	242,67
47	X <sub>4,2,1,2,2,3</sub>	11	462	462	9980	5	5	45	-	0111-I	20	4,00
48	X <sub>4,2,1,2,2,4</sub>	10	230	230	9980	3	3	21	0510	0111	17	5,67
49	X <sub>4,2,1,2,2,5</sub>	4	3	75	20058	2	2	2	0310,0410	0310,0510	376	188,00
50	X <sub>4,2,1,2,6,1</sub>	8	3750	17860	120	3	3	9	-	-	-	-
51	X <sub>4,2,1,1,2,1,1</sub>	22	311	1364	11140	15	62	92	0811-1311	2511-3311	195	3,15
52	X <sub>4,2,1,1,2,1,2</sub>	4	462	462	10198	5	5	18	0112-0312	0112,0212	48	9,60
53	X <sub>4,2,1,1,2,2,1</sub>	17	7	308	10458	4	7	14	1310-0211	1511-2311	185	26,43
54	X <sub>4,2,1,1,2,2,2</sub>	7	10	385	10762	4	6	8	0711-0911	2611-3411	169	28,17
55	X <sub>4,2,1,1,2,2,3</sub>	13	938000	1875000	7	30	30	131	-	0112-0812	-	-

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13=12/8
56	X <sub>4.2.1.2.1.3.1</sub>	8	60	750	11851	9	12	17	-	-	-	-
57	X <sub>4.2.1.2.2.1.1</sub>	13	10	455	10391	5	12	15	0110,0210	0110,0210	39	3,25
58	X <sub>4.2.1.2.2.1.2</sub>	7	6	187	10500	2	3	4	0110	0210,0310	747	249,00
59	X <sub>4.2.1.2.2.1.3</sub>	11	10	255	10391	3	7	9	0110	0110-0310	430	61,43
60	X <sub>4.2.1.2.2.1.4</sub>	16	15	250	11586	3	8	16	0110,0210	0310,0410	335	41,88
61	X <sub>4.2.1.2.2.1.5</sub>	11	10	761	10391	8	12	14	0210	0310,0410	48	4,00
62	X <sub>4.2.1.2.2.2.1</sub>	14	63	368	10391	4	11	19	0110-0310	0210,0310	231	21,00
63	X <sub>4.2.1.2.2.2.2</sub>	7	462	462	10080	5	5	24	-	0210,0111	728	145,60
64	X <sub>4.2.1.2.2.2.3</sub>	8	2	150	10181	2	2	3	0110	0310,0410	43	21,50
65	X <sub>4.2.1.2.2.2.4</sub>	5	2	75	10080	1	1	2	0110	0310,0410	46	46,00
66	X <sub>4.2.1.2.2.2.5</sub>	9	16	300	10080	3	4	7	0110,0210	0210,0310	179	44,75
67	X <sub>4.2.1.2.2.3.1</sub>	21	156	3136	10723	32	68	100	0410-0710	0111	699	10,28
68	X <sub>4.2.1.2.2.3.2</sub>	21	30	400	10349	4	9	27	0210-0410	0310,0410	172	19,11
69	X <sub>4.2.1.2.2.3.3</sub>	8	57	480	10391	5	7	10	0210,0310	0210-0111	89	12,71
70	X <sub>4.2.1.2.2.4.1</sub>	9	12	266	10445	3	5	10	0210,0310	0310,0410	44	8,80
71	X <sub>4.2.1.2.2.4.2</sub>	7	6	96	11200	2	2	4	0110,0210	0210,0310	52	26,00
72	X <sub>4.2.1.2.2.4.3</sub>	30	462	462	10030	5	5	129	-	0112,0212	13	2,60
73	X <sub>4.2.1.2.2.4.4</sub>	12	6	320	10285	4	9	10	0110,0210	0110-0310	235	26,11
74	X <sub>4.2.1.2.2.4.5</sub>	4	4	116	10080	2	2	2	0110,0210	0210,0310	127	63,50
75	X <sub>4.2.1.1.2.1.1.1</sub>	12	32	288	12659	4	4	21	-	-	-	-
76	X <sub>4.2.1.1.2.1.2.1</sub>	22	7	300	10618	4	9	16	0211-0511	2111-2911	185	20,56
77	X <sub>4.2.1.1.2.1.2.2</sub>	7	10	125	10708	2	2	3	0111-0311	2011-0812	329	164,50
78	X <sub>4.2.1.1.2.1.2.3</sub>	4	462	462	10249	5	5	18	0112-0312	0112,0212	48	9,60
79	X <sub>4.2.1.2.2.2.2.1</sub>	12	13	640	10605	7	11	19	0110-0210	0111-0311	440	40,00
80	X <sub>4.2.1.2.2.2.2.2</sub>	7	15	300	10180	3	5	6	0210,0310	0410,0510	289	57,80
81	X <sub>4.2.1.2.2.2.2.3</sub>	8	3	150	10180	2	3	4	0210	0310,0410	60	20,00
82	X <sub>4.2.1.2.2.2.2.4</sub>	10	10	300	10180	3	4	9	0210,0310	0410,0510	100	25,00
83	X <sub>4.2.1.2.2.4.3.1</sub>	14	462	462	10080	5	5	59	-	0112,0212	16	3,20
84	X <sub>4.2.1.2.2.4.3.2</sub>	2	500000	500000	12	7	7	12	-	0112-0312	-	-
85	X <sub>4.2.1.2.2.4.3.3</sub>	3	150	150	20260	3	3	4	0110-0310	0110-0410	204	68,00
86	X <sub>4.2.1.2.2.4.3.4</sub>	7	462	462	10130	5	5	28	0410,0510	0112,0212	381	76,20
87	X <sub>4.2.1.2.2.4.3.5</sub>	7	462	462	10130	5	5	28	-	0112,0212	9	1,80
88	X <sub>4.2.1.1.2.1.1.1.1</sub>	7	468	531	14209	8	15	17	-	-	-	-
89	X <sub>4.2.1.1.2.1.2.3.1</sub>	15	38	577	11130	7	15	31	0211-0511	1611-2411	239	15,93
90	X <sub>4.2.1.2.2.4.3.1.1</sub>	5	462	462	10181	5	5	19	-	0112,0212	10	2,00
91	X <sub>4.2.1.2.2.4.3.1.2</sub>	37	179	1202	11766	14	58	160	0110-0310	0110-0211	770	13,28
92	X <sub>4.2.1.2.2.4.3.1.3</sub>	9	50	400	10495	4	7	9	0110,0210	0210-0510	56	8,00
93	X <sub>4.2.1.2.2.4.3.1.4</sub>	8	750000	6818000	1	46	46	46	-	-	-	-
94	X <sub>4.2.1.2.2.4.3.4.1</sub>	13	3	417	10884	5	11	16	0110,0210	0110-0410	66	6,00
95	X <sub>4.2.1.2.2.4.3.4.2</sub>	2	1250000	1250000	1	3	3	3	-	0112	-	-
96	X <sub>4.2.1.2.2.4.3.5.1</sub>	14	3	417	10884	5	11	18	0110,0210	0110-0410	430	39,09
97	X <sub>4.2.1.2.2.4.3.5.2</sub>	2	1250000	1250000	2	4	4	5	-	0112	-	-
98	X <sub>4.2.1.2.2.4.3.1.1.1</sub>	9	13	253	10600	3	7	9	0110,0210	0110-0410	67	9,57
99	X <sub>4.2.1.2.2.4.3.1.1.2</sub>	7	18	500	10492	5	5	8	0509	0110-0310	-	-
100	X <sub>4.2.1.2.2.4.3.1.4.1</sub>	3	3750000	7500000	1	18	18	18	-	-	-	-
$T_t$	$T_t^{(p)} = 49 (kd/ser)$ , $T_t^{(k)} = 167 (kd/ser)$ , $T_t^{(u)} = 629 (kd/ser)$ Критичан пут (PF-e): $P_{57,1} = (X_{4.2.1.2.1.3.1}, X_{4.2.1.2.1.3}, X_{4.2.1.2.1}, X_{4.2.1.2}, X_{4.2.1}, X_{4.2}, X_4)$ , $N = 7$											

Табела 32 садржи резултате истраживања технолошког и стварног циклуса производа  $X_4$ . Стварно трајање циклуса и коефицијенти протока односе се на PF-е које су уграђене у серију финалног производа 01/12. Трајање технолошких циклуса SP-а  $X_4$  условљено је са једним критичним путем  $P_{57,1}$  кога чини 7 PF-а.

У табели 33 (колоне 4, 5) дате су упоредне вредности трајања циклуса артикала  $X_1$ - $X_4$  за 16 производних серија које су реализоване у периоду 2010-2012. година.

Табела 33: Трајање циклуса  $SP$ -а репрезентаната  $X_i$  са показатељима проточности

$SP$ -и репрезентанти $X_i$			Трајање, $kd/ser$		Показатељи проточности материјала				
Ознака	Серија	Количина	$T_i^{(k)}$	$T_{cs}$	$K_t$	$G_{cs} kd/ser$	Путеви $P_{v,1}$		
							$PC$	$TC$	%
1	2	3	4	5	6=5/4	7=5-4	8	9	10
$X_1$	02/11	9900	116	526	4,53	410	$P_{51,1}$	$P_{46,1}$	27
	<b>04/11</b>	<b>9900</b>		<b>473</b>	<b>4,08</b>	<b>357</b>			
	01/12	9900		519	4,47	403			
$X_2$	02/10	20000	189	270	1,43	81	$P_{22,1}$	$P_{38,1}$	12
	03/10	20000		274	1,45	85			
	06/11	19800	187	451	2,41	264	$P_{48,1}$		
	13/11	19800		530	2,83	343			
	14/11	19800		549	2,94	362	$P_{22,1}$		
	15/11	19800		508	2,72	321			
	16/11	19800		497	2,66	310	$P_{48,1}$		
	17/11	19800		500	2,67	313			
	18/11	19800		313	1,67	126	$P_{22,1}$		
<b>01/12</b>	<b>19800</b>	<b>227</b>	<b>1,21</b>	<b>40</b>	$P_{48,1}$				
$X_3$	02/12	19800	189	861	4,56	672	$P_{87,1}$	$P_{74,1}$	25
	<b>03/12</b>	<b>19800</b>		<b>814</b>	<b>4,31</b>	<b>625</b>			
$X_4$	<b>01/12</b>	<b>9900</b>	173	<b>783</b>	<b>4,53</b>	<b>610</b>	$P_{92,1}$	$P_{57,1}$	50

У колонама 4-9 изведени су најважнији показатељи проточности материјала у  $PC$ -у  $SP$ -а. Коefицијент протока  $K_t$  узима изузетно високе вредности и креће се у интервалу велике ширине од 1,21 - 4,56 што је недопустиво, имајући у виду да је заступљен серијски тип производње. Самим тим изузетно су велики и укупни губици у циклусу  $G_{cs}$  (колона 7). Пuteви који детерминишу технолошки (колона 9) и производни (стварни) циклус (колона 8) се не подударају. Стварно трајање  $PC$ -а  $SP$ -а детерминишу карактеристични путеви у графу  $SP$ -а који немају статус критичних. Посматрано са технолошког аспекта карактеристични путеви из колоне 8 имају краће  $TC$ -е, по комбинованом начину  $KPR$ , у поређењу са критичним (колона 9), за процентуалне износе наведене у колони 10. То значи, да је  $TC$   $SP$ -а  $X_2$  детерминисан карактеристичним путевима  $P_{22,1}$  и  $P_{48,1}$  краћи за 12% у односу на  $TC$  који је детерминисан критичним путем  $P_{38,1}$ .

На добијене резултате утиче више фактора објективне и субјективне природе: серијска производња ових производа није уходана, поједини делови се уграђују у више производа, планирање и управљање производњом засновано је на искуству са високим степеном децентрализације и непоузданим подацима, низак ниво информатичке подршке, недовољно коришћење производних капацитета изазвано већим бројем узрочника губитака, производни процеси засновани су на принципу "гурања", нереално планирање са неусаглашеном динамиком снабдевања.

#### 4.5 Резултати треће фазе експерименталних истраживања

У другој фази експерименталних истраживања квантификовани су показатељи проточности материјала који осликавају стварна и идеална (технолошка) стања у процесу производње Компаније "Слобода". Дугачки циклуси, изузетно високе вредности и велика расипања коефицијената протока и укупних губитака намећу коришћење новог, пројектног приступа, при пројектовању и управљању *PC*-а.

У оквиру треће фазе експеримента прво су анализирани укупни губици, идентификовани кључни узрочници застоја и измерен њихов утицај на трајање циклуса. Процес пројектовања обухвата скуп активности које се односе на квантификацију утицајних елемената, примену теоријских модела (развијених у поглављима 3.6 и 3.7), креирању и коришћењу специјалних софтверских решења и софтверских алата опште намене. Пројектована решења су тестирана у реалним условима производње помоћу постојеће планске и производне документације. На бази пројектованих и остварених вредности циклуса изведени су одговарајући показатељи проточности материјала.

Пројектовање временске и финансијске димензије *PC*-а реализовано је код *PF Чанче* која улази у састав склопа "*Чаура са топовском капсулом и легуром за дебакарисање*", који се налази на критичним путевима сва четири *SP*-а (табела 33, колона 8). Склоп представља подграф оријентисаног графа технолошке структуре чији је почетни чвор означен са "5" за све производе репрезентанте (слике 91-98).

Динамике ангажовања обртних средстава демонстрирана је код *SP*-а *VG-D24* (слике 11, 17, 20, 24) и код две *PF*-е овог производа (*Чаура, Лажни упаљач*).

##### 4.5.1 Квантификација утицајних параметара на пројектовање *PC*-а

Технолошки поступак за израду анализиране *PF Чанче* приказан је на слици 104. Део се производи у три дислоциране организационе целине 120, 170 и 630. У производном процесу ангажовано је 9 различитих машина ( $M_1$ - $M_9$ ) и заступљено је 10 врста технологија које су груписане у четири групе: термичка обрада, механичка обрада (деформација и резање), хемијска припрема и површинска заштита. Од 22 технолошке операције 17 операција су производне (6 операција се односи на промену облика, 11 операција на промену особина) и 5 су непроизводне (4 операције се односе на контролу, 1 операција се односи на транспорт).

**OPERACIJSKI POSTUPAK**  
- SPISAK OPERACIJA SA NORMATIVIMA-

MATERIJAL	Vrsta i kvalitet	CuZn33.38		Proizvod:	Metak 30mm AP X <sub>2</sub>								
	Tehnički uslovi	JUS C.D4.120		Prethodni nivo:	Uložak (laboracija)								
	Sirove dimenzije	≠ 1,2 x tabla		Naziv:	Čanče								
	Tehnički uslovi	JUS C.D4.520		Crtež:	6475007		Oznaka: *						
Količina za 1000 kom.	6,7 kg	Šifra:	S <sub>41</sub>	Sifra:	176475007	Pripremno-završno vreme:	Isporučka SKL - skladištu						
OPERACIJA		RADI		Vreme									
Broj	Naziv	Reg broj	RJ	Mašina, uređaj	Izrade (cmh)	Dopunsko (%)	Po operaciji t (cmh)	Kapacitet za 7,5 t	Grupa posla	Broj rad.	Ukupno vreme (cmh)		
1	Sečenje na trake	83429/1	120	Mašinske makaze	-	5,7	10	6	120000	II-1	2	12	12
2	Žarenje	83429/2	170	Komorna peć M1	-	36	10	40	18750	II-1 III-1	1/2 1/2	20 20	52
3	Bajcovanje	83429/3	170	Kade i uređaji	-	7,3	10	8	93750	II-1	1	8	60
4	Prosecanje i savijanje	83429/4	120	Ekscentar presa M2	1	122	10	134	5600	II-2	1	134	194
5	Pranje	83429/5	170	Ručno	-	7,3	10	8	93750	II-1	1	8	202
6	Žarenje	83429/6	170	Komorna peć M1	-	36	10	40	18750	II-1 III-1	1/2 1/2	20 20	242
7	Bajcovanje	83429/7	170	Kade i uređaji	-	7,3	10	8	93750	II-1	1	8	250
8	Izvlačenje	83429/8	120	Hidraul. presa 25t.M3	1	156	10	172	4300	II-2	1	172	422
9	Pranje	83429/9	170	Ručno	-	7,3	10	8	93750	II-1	1	8	430
10	Žarenje	83429/10	170	Komorna peć M4	-	36	10	40	18750	II-1 III-1	1/2 1/2	20 20	470
Ime:										Veza sa: Kopija			
										85359 broj: datum			
Postavio:	Kontrol:	Odobrio:	Zam-je	List br.:	1			83429					
Datum:	Datum:	Datum:	Zam-sa:	Ima lista:	3								

**OPERACIJSKI POSTUPAK**  
- SPISAK OPERACIJA SA NORMATIVIMA-

MATERIJAL	Vrsta i kvalitet	CuZn33.38		Proizvod:	Metak 30mm AP X <sub>2</sub>								
	Tehnički uslovi	JUS C.D4.120		Prethodni nivo:	Uložak (laboracija)								
	Sirove dimenzije	≠ 1,2 x tabla		Naziv:	Čanče								
	Tehnički uslovi	JUS C.D4.520		Crtež:	6475007		Oznaka: *						
Količina za 1000 kom.	6,7 kg	Šifra:	S <sub>41</sub>	Sifra:	176475007	Pripremno-završno vreme:	Isporučka SKL - skladištu						
OPERACIJA		RADI		Vreme									
Broj	Naziv	Reg broj	RJ	Mašina, uređaj	Izrade (cmh)	Dopunsko (%)	Po operaciji t (cmh)	Kapacitet za 7,5 t	Grupa posla	Broj rad.	Ukupno vreme (cmh)		
11	Bajcovanje	83429/11	170	Kade i uređaji	-	7,3	10	8	93750	II-1	1	8	478
12	I sužavanje	83429/12	120	Ekscentar presa M5	-	156	10	172	4300	II-2	1	172	650
13	II sužavanje	83429/13	120	Ekscentar presa M6	1	156	10	172	4300	II-2 III-1	1 1	172 172	994
14	Kraćenje	83429/14	120	Doradni strug M7	-	273	10	300	2500	II-2	1	300	1294
15	Pranje	83429/15	170	Ručno	-	7,3	10	8	93750	II-1	1	8	1302
16	Tehnička kontrola-uzorak	83429/16	630	Ručno	-	45	10	50	15000 (1500)	IV-2	1	50	1352
17	Tehnička kontrola	83429/17	630	Očno	-	84	10	92	8200	II-2	1	92	1444
18	Homogenizacija	83429/18	170	Kade i uređaji M8	-	36	10	40	18750	III-1	1	40	1484
19	Tehnička kontrola	83429/19	630	Očno	-	84	10	92	8200	II-2	1	92	1576
20	Lakovanje	83429/20	170	Uređaj M9	-	27	10	30	25000	II-2	1	30	1606
Ime:										Veza sa: Kopija			
										85359 broj: datum			
Postavio:	Kontrol:	Odobrio:	Zam-je	List br.:	2			83429					
Datum:	Datum:	Datum:	Zam-sa:	Ima lista:	3								

**OPERACIJSKI POSTUPAK**  
- SPISAK OPERACIJA SA NORMATIVIMA-

MATERIJAL	Vrsta i kvalitet	CuZn33.38		Proizvod:	Metak 30mm AP X <sub>2</sub>								
	Tehnički uslovi	JUS C.D4.120		Prethodni nivo:	Uložak (laboracija)								
	Sirove dimenzije	≠ 1,2 x tabla		Naziv:	Čanče								
	Tehnički uslovi	JUS C.D4.520		Crtež:	6475007		Oznaka: *						
Količina za 1000 kom.	6,7 kg	Šifra:	S <sub>41</sub>	Sifra:	176475007	Pripremno-završno vreme:	Isporučka SKL - skladištu						
OPERACIJA		RADI		Vreme									
Broj	Naziv	Reg broj	RJ	Mašina, uređaj	Izrade (cmh)	Dopunsko (%)	Po operaciji t (cmh)	Kapacitet za 7,5 t	Grupa posla	Broj rad.	Ukupno vreme (cmh)		
21	Tehnička kontrola	83429/21	630	Očno	-	84	10	92	8200	II-2	1	92	1698
22	Transport	83429/22	120	Elektrokareta	-	1,8	10	2	375000	II-1	1	2	1700
Ime:										Veza sa: Kopija			
										85359 broj: datum			
Postavio:	Kontrol:	Odobrio:	Zam-je	List br.:	3			83429					
Datum:	Datum:	Datum:	Zam-sa:	Ima lista:	3								

\*Oznaka:  
za X<sub>1</sub>: X<sub>1</sub> 2112121 (42→48)  
za X<sub>2</sub>: X<sub>2</sub> 2112121 (40→45)  
za X<sub>3</sub>: X<sub>3</sub> 2112121 (46→71)  
za X<sub>4</sub>: X<sub>4</sub> 2112121 (53→77)

Слика 104: Технолошки поступак за израду PF-е Чанче

Укупно време потребно за израду износи 0,017 *нч/ком*. У структури норме 20% чини машинско време (ради само машина), 59% чини комбиновано време (истовремено су ангажовани и радник и машина) и 21% чини ручно време (ангажовани су само производни радници).

Водећи се претходним истраживањима [34, 35, 38, 47, 51, 64] и имајући у виду велике губитке у циклусу (табеле 29-32, колона 13 и табела 33, колоне 6 и 7) истражени су узрочници и измерени губици производних капацитета у периоду реализације експеримента 2010-2012. Резултати истраживања објављени су у радовима [54, 55, 56, 89, 94]. У наредном делу дисертације приказаће се део резултата који се односе на анализирани део.

За *ТО* са машинским и комбинованим временима *Методом тренутних запажања* идентификовани су узрочници губитака (*i*) и утврђен је степен коришћења  $\eta_m$  машинских капацитета, укупни  $g_m$  и парцијални губици  $g_i$  (286).

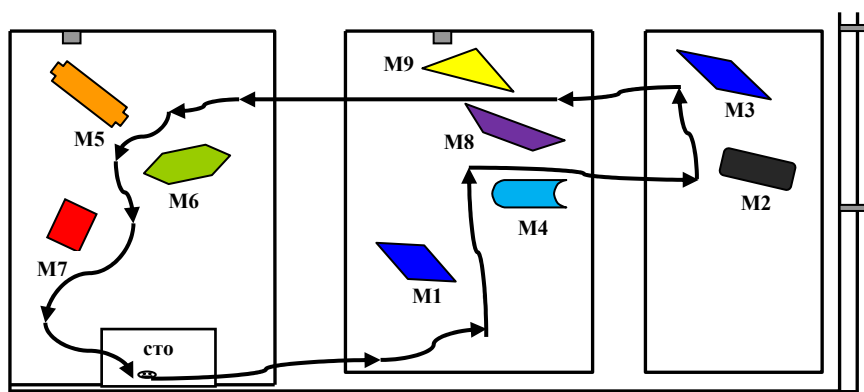
$$(209) \Rightarrow g_m = \sum_{i=1}^8 g_i, i = \{K, A, M, C, I, V, O_s, X\}, \eta_m = \frac{n(+)}{n}, g_i = \frac{n_i(-)}{n} \quad (286)$$

У табели 34 приказан је план експеримента (реализован у 2010.), а на слици 105 распоред 9 сниманих машина које се користе за израду анализираног дела.

Табела 34: План експеримента за мерење актуелних губитака помоћу *MTZ*

Ред. број	<i>RJ</i>	Бр. машина	План експеримента							Број обележја
			$n_{11}$	$n_{12}$	$n_1$	$n_2$	$n_3$	$n^*$	$m$	
<i>I</i>	2	3	4	5	6=4+5	7	8	9=6·7·8	10=3·9	<i>II</i>
1	120/I	2	20	20	40	10	12	4800	9600	10
2	170	4	20	20	40	10	12	4800	19200	10
3	120/II	3	20	20	40	10	12	4800	14400	10

Напомена:  $n_{11}$ - број опажања по машини у првој смени,  $n_{12}$ - број опажања по машини у другој смени,  $n_1$ - број опажања по машини у дану,  $n_2$ - број дана снимања у месецу,  $n_3$ - број месеци снимања у години,  $n^*$ - укупан број опажања по машини у току године,  $m$ - укупан број опажања свих машина по орг. целинама



Слика 105: Распоред машина  $M_1$ - $M_9$  са трајекторијом кретања снимача

Снимачки лист

1	1	0	0	0	0	9	0	0	1	11	01	2010	1	11	01	2010	2	t <sub>0</sub>	=	10
ORJ		Br.Машина		Снимачки дан		Datum		Sm.		Datum		Sm. Obilazak (min)								
Опаш.	Смена	Време поласка	OZNAKA MAŠINE Mj																	
			M <sub>1</sub>	M <sub>2</sub>	M <sub>3</sub>	M <sub>4</sub>	M <sub>5</sub>	M <sub>6</sub>	M <sub>7</sub>	M <sub>8</sub>	M <sub>9</sub>									
1.	I	7-15	P	X	Č	Č	X	T	Č	T	X									
2.		7-25	T	X	T	T	X	T	T	T	X									
3.		8-20	T	X	T	T	X	T	A	T	X									
4.		8-40	Č	X	O	A	X	O	A	P	X									
5.		8-55	Č	X	O	A	X	O	P	T	X									
6.		9-15	T	X	T	A	X	T	Č	T	X									
7.		10-10	T	X	T	A	X	A	T	T	X									
8.		10-30	T	X	T	A	X	A	T	T	X									
9.		10-45	T	X	T	A	X	A	I	T	X									
10.		11-05	T	X	A	P	X	A	I	I	X									
11.		11-25	M	X	A	T	X	A	I	I	X									
12.		11-40	M	X	A	T	X	T	I	I	X									
13.		12-10	M	X	A	T	X	T	I	I	X									
14.		12-25	M	X	P	T	X	T	I	T	X									
15.		12-40	M	X	T	T	X	T	I	T	X									
16.		13-15	O	X	K	I	X	T	T	T	X									
17.		13-30	O	X	P	I	X	T	T	T	X									
18.		14-00	O	X	T	I	X	P	T	T	X									
19.		14-30	T	T	T	I	X	T	O	Č	X									
20.		14-45	T	T	K	I	X	T	O	Č	X									
21.	II	15-05	X	T	K	I	T	T	T	T	P									
22.		15-25	X	P	K	I	T	T	T	I	T									
23.		15-45	X	T	K	I	T	T	T	I	T									
24.		16-05	X	T	K	I	T	T	Č	I	T									
25.		16-50	X	T	K	Č	T	M	T	T	T									
26.		17-10	X	T	K	T	T	M	T	Č	T									
27.		17-25	X	P	K	T	T	M	T	T	T									
28.		17-40	X	P	K	T	O	M	I	T	T									
29.		17-55	X	T	K	T	O	M	I	T	T									
30.		18-20	X	T	K	T	T	M	T	T	T									
31.		18-40	X	P	K	T	T	M	P	P	P									
32.		19-05	X	T	K	X	T	M	T	T	T									
33.		19-30	X	T	K	X	P	M	T	T	T									
34.		20-00	X	P	K	X	T	M	Č	T	T									
35.		20-30	X	T	K	X	T	M	T	T	T									
36.		20-45	X	T	K	X	T	M	T	T	T									
37.		21-00	X	T	K	X	T	M	I	T	T									
38.		21-35	X	T	K	X	Č	M	I	T	T									
39.		22-00	P	X	Č	Č	X	T	Č	T	X									
40.		22-45	T	X	T	T	X	T	T	T	X									
T - tehnološko			10	15	10	14	14	18	18	28	16									
P - pripremno završno			2	5	2	1	1	1	2	2	2									
M - materijal			5	-	-	-	-	14	-	-	-									
A - alat			-	-	4	6	-	5	2	-	-									
K - kvar mašine			-	-	20	-	-	-	-	-	-									
Č - čovek			2	-	2	3	1	-	5	3	-									
X - nema posla			18	20	-	7	22	-	-	-	22									
I - čeka pr.operaciju			-	-	-	9	-	-	11	7	-									
O - ostalo			3	-	2	-	2	2	2	-	-									
V - čeka iz druge ORJ			-	-	-	-	-	-	-	-	-									
UKUPNO:			40	40	40	40	40	40	40	40	40									

RO "FNP" Obr.br.05.01.1

Слика 106: Изглед снимачког листа са подацима снимљеним 11.01.2010.

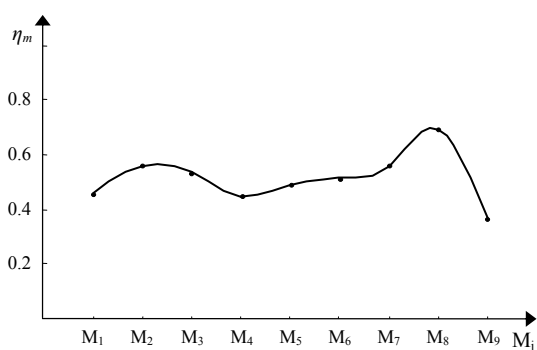
На слици 106 дат је изглед оригиналног снимачког листа са подацима снимљеним у првом снимачком дану, 11.01.2010. године, у првој и другој смени. Подаци су обрађени помоћу програма [54] а резултати приказани у табели 35 и на сликама 107-115. У Табели 35 (колона 13) и на слици 116 дате су пројектоване вредности степена коришћења машинских капацитета  $\mu_m$ , релација (287) у које су укључени губици изазвани недостатком материјала ( $g_M$ ) и недостатком посла ( $g_X$ ).

$$(209) \Rightarrow \mu_m = \eta_m + (g_M + g_X) \tag{287}$$

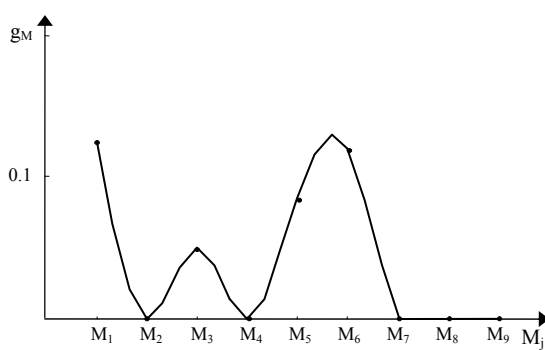
Просечно коришћење машина у 2010. години износи 51,5%. Појединачно по машинама креће се у распону од 37-69,5% (табела 35, колона 3).

Табела 35: Коришћење машинских капацитета, губици и вредност параметра  $\mu_m$

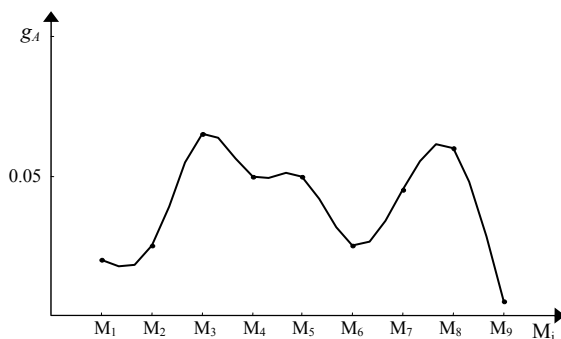
Р.б.	$M_i$	$\eta_m$	Вредности парцијалних губитака $g_i$ , по узрочницима застоја ( $i$ )								$g_m$	$\mu_m$
			$g_M$	$g_A$	$g_K$	$g_C$	$g_X$	$g_I$	$g_V$	$g_{Os}$		
1	$M_1$	0,4600	0,1250	0,0200	0,1150	0,0450	0,1800	0,0000	0,0000	0,0550	0,5400	0,7650
2	$M_2$	0,5600	0,0000	0,0250	0,0000	0,0250	0,2150	0,1450	0,0000	0,0300	0,4400	0,7750
3	$M_3$	0,5350	0,0500	0,0650	0,1450	0,0300	0,1650	0,0000	0,0000	0,0100	0,4650	0,7500
4	$M_4$	0,4500	0,0000	0,0500	0,1050	0,0250	0,2150	0,1400	0,0000	0,0150	0,5500	0,6650
5	$M_5$	0,4900	0,0850	0,0500	0,0400	0,0550	0,2500	0,0000	0,0000	0,0300	0,5100	0,8250
6	$M_6$	0,5150	0,1200	0,0250	0,0150	0,0150	0,3000	0,0000	0,0000	0,0100	0,4850	0,9350
7	$M_7$	0,5600	0,0000	0,0450	0,0750	0,0500	0,0900	0,1350	0,0000	0,0450	0,4400	0,6500
8	$M_8$	<b>0,6950</b>	0,0000	0,0600	0,0200	0,0900	0,0000	0,0900	0,0000	0,0450	0,3050	0,6950
9	$M_9$	<b>0,3700</b>	0,0000	0,0050	0,1650	0,0200	0,3850	0,0550	0,0000	0,0000	0,6300	0,7550
просек		0,5150	0,0422	0,0383	0,0756	0,0394	0,2000	0,0628	0,0000	0,0267	0,4850	0,7572



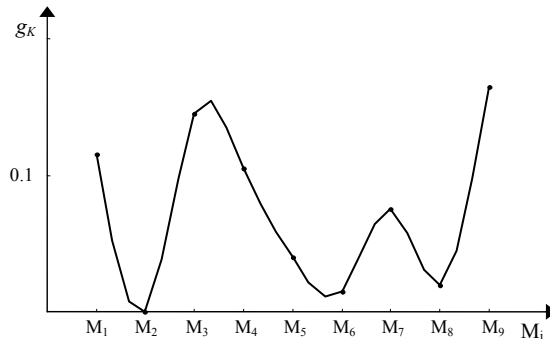
Слика 107: Коришћење капацитета  $\eta_m$



Слика 108: Губици  $g_M$  по машинама



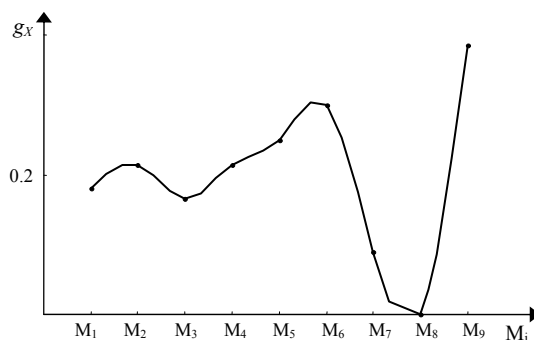
Слика 109: Губици  $g_A$  по машинама



Слика 110: Губици  $g_K$  по машинама

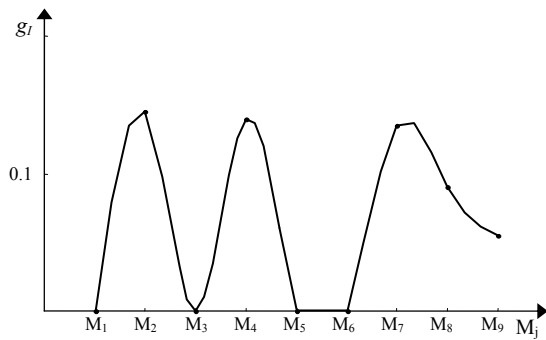
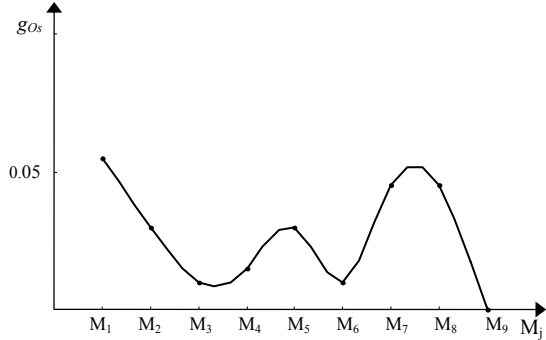
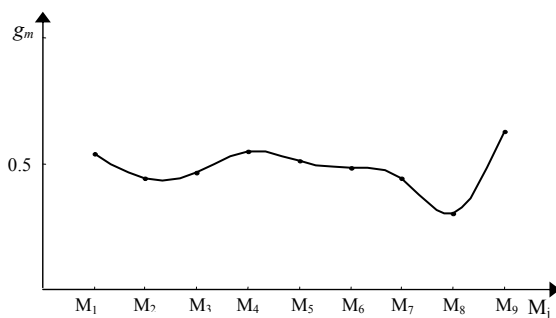
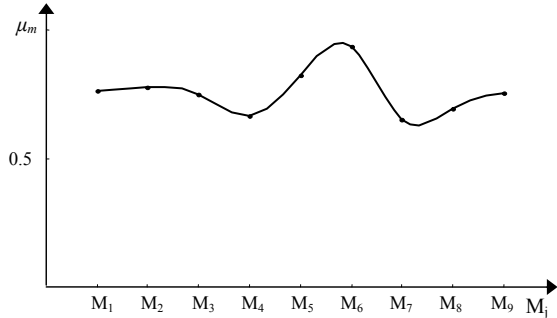


Слика 111: Губици  $g_C$  по машинама



Слика 112: Губици  $g_X$  по машинама



Слика 113: Губици  $g_l$  по машинамаСлика 114: Губици  $g_{Os}$  по машинамаСлика 115: Укупни губици  $g_m$ Слика 116: Пројектован капацитет  $\mu_m$ 

Истраживање узрочника губитака ( $j$ ) радног времена и степена коришћења производних људских ресурса  $\eta_r$  значајно је за радна места и технолошке операције где је претежно заступљен ручни рад.

У циљу идентификације и откривања законитости у понашању узрочника губитака радног времена, прикупљени су и анализирани одговарајући подаци у сектору за управљање људским ресурсима за 2010. годину. Степен коришћења ових ресурса  $\eta_r$ , релација (288), и актуелни губици по узрочницима, утврђени су на основу евиденције рада радника. Анализом је идентификовано 8 узрочника губитака радног времена ( $j$ ): боловање до 30 дана ( $b_1$ ), боловање преко 30 дана ( $b_2$ ), неоправдани изостанци и излазнице ( $i$ ), годишњи одмор ( $g_o$ ), прекид рада-нема посла ( $pr$ ), штрајкови, виша сила ( $p_r$ ), плаћено и неплаћено одсуство ( $o$ ), државни празници ( $d_p$ ), ангажовање на другим пословима ( $d$ ). Укупан број запослених радника ( $z_u$ ) представља збир производних ( $z$ ) и административних радника ( $z_a$ ). Просечан број производних радника који је присутан на послу сваког дана ( $z_r$ ) представља разлику између укупног броја производних радника и просечног броја производних радника који су одсутни по свим основама ( $z_g$ ), релација (289).

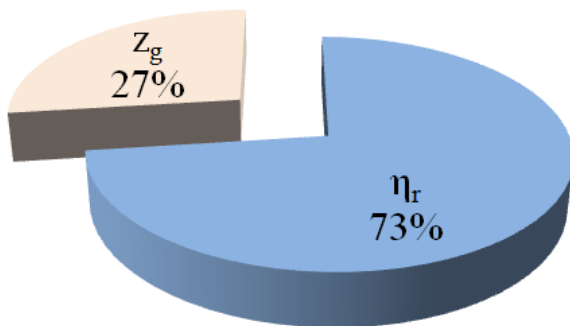
$$(209) \Rightarrow z_g = \sum_{j=1}^8 z_j, j = \{b_1, b_2, i, g_o, p_r, o, d_p, d\}, \eta_r = \frac{z - z_g}{z} = \frac{z_r}{z} \quad (288)$$

$$z_u = z + z_a, z_r = z - z_g \quad (289)$$

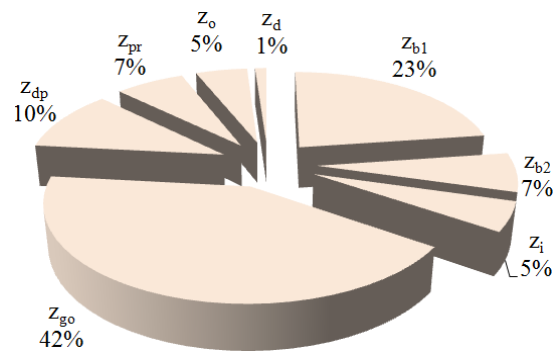
На основу релација (205), (209), (288) и (289) у табели 36 и на сликама 117 и 118 приказани су показатељи релевантни за коришћење производних људских ресурса (*PLJR*). Због неповољне старосне структуре високи су губици радног времена по основу боловања ( $b_1, b_2$ ) и годишњег одмора ( $g_o$ ). Од укупно 800 производних радника просечно сваки дан одсуствује 27% или 216 радника.

Табела 36: Коришћење *PLJR*, губици радног времена и вредности параметра  $\mu_r$

$z, \text{rad/god}$	$z_j, j = \{b_1, b_2, i, g_o, d_p, p_r, o, d\}, \%$								$z_g$		$z_r \text{ rad/god}$	$\eta_r \%$	$P_e \text{ nč/god}$	$F_{nc} \text{ nč/god}$	$\xi_r$
	$z_{b1}$	$z_{b2}$	$z_i$	$z_{g_o}$	$z_{d_p}$	$z_{p_r}$	$z_o$	$z_d$	$\%$	$\text{rad/god}$					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12=1-11	13	14	15	16
800	6,15	1,8	1,35	11,4	2,85	1,8	1,35	0,3	27	216	584	73	163917	2217	1,13
$(209) \wedge (205) \Rightarrow F_{nc} = 257 \cdot 7,5 \cdot 1,15 = 2217 \text{ (nc / radniku, godišnje)},$ $(209) \Rightarrow \xi_r = \frac{584 \cdot 2217 + 163917}{584 \cdot 2217} = 1,13, (209) \Rightarrow \mu_r = 0,73 \cdot 1,13 = 0,82$															



Слика 117: Укупни  $z_g$  губици *PLJR*



Слика 118: Парцијални  $z_j$  губици *PLJR*

Вредности унутароперацијских застоја релевантне за пројектовање *PC*-а зависе од степена коришћења машинских капацитета  $\mu_m$  и *PLJR*-а  $\mu_r$ . На коришћење производних капацитета  $\mu_i$ , поред узрочника губитака, утиче и прековремено ангажовање радника које је обухваћено коефицијентом  $\xi_r$  (табела 36, колона 16).

При пројектовању *PC*-а нормативи рада, на нивоу *ТО*-а, су кориговани са коефицијентом извршења норме  $p_n$ , који је утврђен на основу података из радних листи, релација (205). Губици  $\xi_i$  по основу квалитета (шкарт, испитивања итд.) и недовршена производња узети су у обзир приликом планирања количина *PF*-а.

#### 4.5.2 Примена модела за пројектовање и управљање РС-ма

Прорачун технолошких и анализа стварних циклуса, након завршетка производње по лансираним  $RN$ -а, представља основу за примену модела за пројектовање  $PC$ -а. На основу технолошког поступка (слика 104), релација (129), (131), (140), (146), (164)-(177) и апликативних програма написаних у софтверском окружењу *Mathematica* (прилози 2 и 3), у табели 37 приказани су подаци за прорачун  $TC$ -а за производну серију од 30000 комада одабране  $PF$ -е.

Табела 37: Приказ података за прорачун  $TC$ -а  $PF$ -е **Чанче** за  $q=30000$  *kom*

Ред. број операције	Ознака машине	Капацитет у смени $q_{s_i}$ ( <i>kom/smeni</i> )	Време по операцији $t_i$ ( <i>cmh/kom</i> )	Параметри за прорачун технолошког циклуса				
				$t_{max}$	$t_k$	$t_j$	$F_i$	$(t_i - t_{i-1}) \cdot F_i$
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	-	125000	6	-	-	-	-	-
2	M1	18750	40	-	40	-	1	34
3	-	93750	8	-	-	8	0	-
4	M2	5600	134	-	134	-	1	126
5	-	93750	8	-	-	8	0	-
6	M1	18750	40	-	40	-	1	32
7	-	93750	8	-	-	8	0	-
8	M3	4300	172	-	172	-	1	164
9	-	93750	8	-	-	8	0	-
10	M4	18750	40	-	40	-	1	32
11	-	93750	8	-	-	8	0	-
12	M5	4300	172	-	172	-	1	164
13	M6	4300	172	-	-	172	0	-
14	M7	2500	300	300	300	-	1	128
15	-	93750	8	-	-	8	0	-
16	-	15000	50	-	-	-	1	42
17	-	8200	92	-	92	-	1	42
18	M8	18750	40	-	-	40	0	-
19	-	8200	92	-	92	-	1	52
20	M9	25000	30	-	-	30	0	-
21	-	8200	92	-	92	-	1	62
22	-	375000	2	-	-	-	0	-
Σ			1522	-	1174	290	-	878
$(166) \Rightarrow H = 7,5 \cdot 1,3 \cdot 0,704 = 6,866 \quad \wedge \quad \delta = \frac{D_k}{D_r} = \frac{365}{257} = 1,42$ $t_i^{(p)} = 13,11 \approx 14 \text{ (kd/ser)} < t_i^{(k)} = 38,62 \approx 39 \text{ (kd/ser)} < t_i^{(u)} = 66,50 \approx 67 \text{ (kd/ser)}$								

На основу производне документације и остварених термина почетка и завршетка производње анализираних  $PF$ -е утврђено је трајање  $t_{cs}$   $PC$ -а. Укупно је анализирано 13  $RN$  у количинама по 30000 комада, 7 лансираних у 2010. и 6 у 2011. години. Респектујући формуле (203), (275) и (290) извршена је анализа  $PC$ -а, при чему су резултати истраживања приказани помоћу релације (291) и табеле 38.

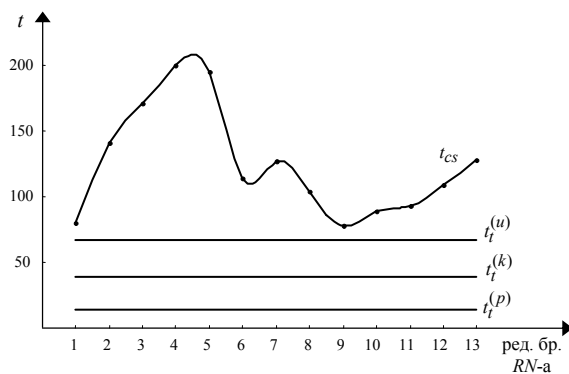
$$\varepsilon = \frac{g_{cs}}{n} \tag{290}$$

$$t_t^{(k)} = 38,62 \quad 78 \leq t_{cs} \leq 200 \quad 39,4 \leq g_{cs} \leq 161,4 \quad 1,8 \leq \varepsilon \leq 7,3 \quad 2,02 \leq k_t \leq 5,18 \tag{291}$$

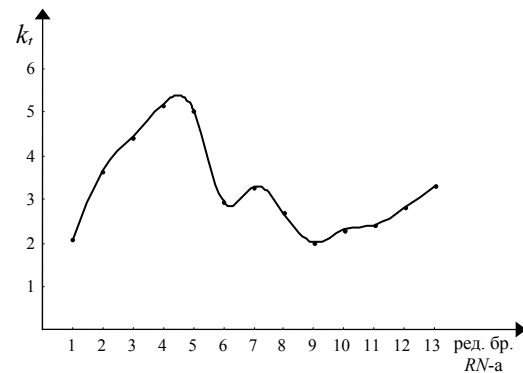
Табела 38: Показатељи проточности:  $t_{cs}$ ,  $g_{cs}$ ,  $\varepsilon$  (просечни губици по  $ТО$ ),  $t_t^{(k)}$  и  $k_t$

Р. б.	Радни налог (RN)				Дужина циклуса ( $kd$ )		Губици ( $kd$ )		$k_t$
	Серија	Количина	Датум производње		$t_t^{(k)}$	$t_{cs}$	$g_{cs}$	$\varepsilon$	
			Почетак	Завршетак					
1	2	3	4	5	6	7	8=7-6	9	10=7/6
1	04/10	30000	30.08.'10	17.11.'10	38,62	80	41,4	1,9	2,07
2	05/10	30000	30.08.'10	17.01.'11		141	102,4	4,7	3,65
3	06/10	30000	30.08.'10	16.02.'11		171	132,4	6,0	4,43
4	07/10	30000	30.08.'10	17.03.'11		<b>200</b>	<b>161,4</b>	<b>7,3</b>	<b>5,18</b>
5	08/10	30000	18.09.'10	31.03.'11		195	156,4	7,1	5,05
6	09/10	30000	16.12.'10	08.04.'11		114	75,4	3,4	2,95
7	10/10	30000	16.12.'10	21.04.'11		127	88,4	4,0	3,29
8	01/11	30000	23.02.'11	06.06.'11		104	65,4	3,0	2,69
9	03/11	30000	09.04.'11	25.06.'11		<b>78</b>	<b>39,4</b>	<b>1,8</b>	<b>2,02</b>
10	04/11	30000	09.04.'11	06.07.'11		89	50,4	2,3	2,30
11	05/11	30000	07.07.'11	07.10.'11		93	54,4	2,5	2,41
12	06/11	30000	07.07.'11	23.10.'11		109	70,4	3,2	2,82
13	07/11	30000	08.09.'11	13.01.'12		128	89,4	4,1	3,31
Просечна вредност (аритметичка средина):						<b>125,3</b>	<b>86,7</b>	<b>3,9</b>	<b>3,24</b>

На слици 119 и 120 приказано је трајање  $TC$ -а ( $t_t^{(k)}$ ,  $t_t^{(u)}$  и  $t_t^{(p)}$ , табела 37), стварно трајање  $PC$ -а  $t_{cs}$  и кретање коефицијента протока материјала  $k_t$ , по  $RN$ -а.



Слика 119: Техн. и стварни циклуси по  $RN$



Слика 120: Коефициј. протока  $k_t$  по  $RN$

Уважавајући реалне услове производње први корак у процесу пројектовања заснива се на пројектовању циклуса  $ТО$ -а ( $\tau_i$ ), релације (204)-(210). У зависности од технолошких  $q_{s_i}$ , усвојених ( $p_{n_i}$ ,  $\mu_{mi}$ ,  $\mu_{ri}$ ), и пројектованих параметара ( $r_i$ ,  $s_{d_i}$ ), у табелама 39-41 приказане су три варијанте трајања циклуса  $ТО$ -а. Варијанте се односе на пројектоване услове рада по  $ТО$ -а (број смена и број радних места).

Табела 39: Параметри и пројектоване вредности ( $\tau_i$ ) циклуса *ТО*-а, **1.** варијанта

Редни број операције	Капацитет у смени $q_{S_i}$	Број смена $S_{d_i}$	Број радних места $r_i$	Просечно извршење норме $p_{n_i}$	$\mu_i$	$\tau_i$	$\tau_i > \tau_{i-1}$	$\tau_p - \tau_{p-1}$ (kd)
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	125000	1	1	1,10	0,820	0,38		
2	18750	1	1	1,02	0,765	2,91	√	2,53
3	93750	1	1	1,08	0,820	0,51		
4	5600	1	1	1,04	0,775	9,44	√	8,93
5	93750	1	1	1,13	0,820	0,49		
6	18750	1	1	1,02	0,765	2,91	√	2,42
7	93750	1	1	1,10	0,820	0,50		
8	4300	1	1	1,10	0,750	12,01	√	11,51
9	93750	1	1	1,09	0,820	0,51		
10	18750	1	1	1,06	0,665	3,22	√	2,71
11	93750	1	1	1,09	0,820	0,51		
12	4300	1	1	1,05	0,825	11,44	√	10,93
13	4300	1	1	1,03	0,935	10,29		
14	2500	1	1	1,05	0,650	24,97	√	14,68
15	93750	1	1	1,13	0,820	0,49		
16	15000	1	1	1,15	0,820	3,01	√	2,52
17	8200	1	1	1,12	0,820	5,66	√	2,65
18	18750	1	1	1,10	0,695	2,97		
19	8200	1	1	1,18	0,820	5,37	√	2,40
20	25000	1	1	1,07	0,755	2,11		
21	8200	1	1	1,13	0,820	5,61	√	3,50
22	375000	1	1	1,18	0,820	0,12		
<b>Σ</b>						<b>105,43</b>	-	<b>64,78</b>

Табела 40: Параметри и пројектоване вредности ( $\tau_i$ ) циклуса *ТО*-а, **2.** варијанта

Редни број операције	Капацитет у смени $q_{S_i}$	Број смена $S_{d_i}$	Бр. рад. места $r_i$	Просечно изв. норме $p_{n_i}$	$\mu_i$	$\tau_i$	$\tau_i > \tau_{i-1}$	$\tau_p - \tau_{p-1}$ (kd)
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	125000	1	1	1,10	0,820	0,38		
2	18750	1	2	1,02	0,765	1,46	√	1,08
3	93750	1	1	1,08	0,820	0,51		
4	5600	1	3	1,04	0,775	3,15	√	2,64
5	93750	1	1	1,13	0,820	0,49		
6	18750	1	2	1,02	0,765	1,46	√	0,97
7	93750	1	1	1,10	0,820	0,50		
8	4300	1	3	1,10	0,750	4,00	√	3,50
9	93750	1	1	1,09	0,820	0,51		
10	18750	1	2	1,06	0,665	1,61	√	1,10
11	93750	1	1	1,09	0,820	0,51		
12	4300	1	3	1,05	0,825	3,81	√	3,30
13	4300	1	3	1,03	0,935	3,43		
14	2500	1	3	1,05	0,650	8,32	√	4,89
15	93750	1	1	1,13	0,820	0,49		
16	15000	1	2	1,15	0,820	1,51	√	1,02
17	8200	1	3	1,12	0,820	1,89	√	0,38
18	18750	1	2	1,10	0,695	1,49		
19	8200	1	3	1,18	0,820	1,79	√	0,30
20	25000	1	1	1,07	0,755	2,11	√	0,32
21	8200	1	3	1,13	0,820	1,87		
22	375000	1	1	1,18	0,820	0,12		
<b>Σ</b>						<b>41,41</b>	-	<b>19,50</b>

Табела 41: Параметри и пројектоване вредности циклуса  $ТО$ -а, **3.** варијанта, [94]

Редни број операције	Капацитет у смени $q_{S_i}$	Број смена $S_{d_i}$	Бр. рад. места $r_i$	Просечно изв. норме $p_{n_i}$	$\mu_i$	$\tau_i$	$t_i^{1/2} \wedge \tau_i^{1/2}$	$\tau_p - \tau_{p-1}$ (kd)
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	125000	1	1	1,10	0,820	0,38		
2	18750	2	2	1,02	0,765	0,73	√	0,35
3	93750	1	1	1,08	0,820	0,51		
4	5600	2	3	1,04	0,775	1,57	√	1,06
5	93750	1	1	1,13	0,820	0,49		
6	18750	2	2	1,02	0,765	0,73	√	0,24
7	93750	1	1	1,10	0,820	0,50		
8	4300	2	4	1,10	0,750	1,50	√	1,00
9	93750	1	1	1,09	0,820	0,51		
10	18750	2	2	1,06	0,665	0,81	√	0,30
11	93750	1	1	1,09	0,820	0,51		
12	4300	2	4	1,05	0,825	1,43	√	0,92
13	4300	2	4	1,03	0,935	1,29		
14	2500	2	6	1,05	0,650	2,08	√	0,79
15	93750	1	1	1,13	0,820	0,49		
16	15000	2	2	1,15	0,820	0,75	√	0,26
17	8200	1	3	1,12	0,820	1,89	√	1,14
18	18750	2	2	1,10	0,695	0,74		
19	8200	2	2	1,18	0,820	1,34	√	0,60
20	25000	1	1	1,07	0,755	2,11	√	0,77
21	8200	1	3	1,13	0,820	1,87		
22	375000	1	1	1,18	0,820	0,12		
<b>Σ</b>						<b>22,35</b>	-	<b>7,43</b>

У другом кораку потребно је усвојити укупне губитке у циклусу  $g_{cp}$  а затим на основу формуле (212) или (226), у зависности од изабраног модела за пројектовање циклуса  $PF$ -е, израчунати просечне парцијалне губитке  $\Delta\tau$  између  $ТО$ -а. Укупне планиране губитке у циклусу могуће је одредити на више начина, при чему треба тежити да усвојене вредности буду мање од остварених, релација (203), слика 7. На основу података из табеле 38 (колони 8) и релације (292) демонстриран је један од могућих начина за утврђивање овог параметра. У овом експерименту укупни планирани губици  $g_{cp}$  у циклусу израчунати су на основу очекиваног трајања  $t_c$  циклуса, релација (293) а парцијални  $\Delta\tau$  по формули (294).

$$g_{cp} \leq \min g_{cs} = \min\{41.4, 102.4, 132.4, 161.4, 156.4, 75.4, \dots, 89.4\}, \quad g_{cp} \leq 39,4 \quad (292)$$

$$(203) \wedge t_{cs} = t_c \Rightarrow g_{cp} = t_c - t_t^{(k)} \quad (293)$$

$$(230) \wedge (293) \wedge t_{cp} = t_c \Rightarrow \Delta\tau = \frac{t_t^{(k)} + g_{cp} - \tau_1 - \sum_{p=1}^k (\tau_p - \tau_{p-1})}{n-1} \quad (294)$$

Подаци потребни за прорачун циклуса  $t_c$  дати су у табели 42. Очекивано трајање циклуса  $t_c$   $PF$ -е **Чанче** добијено је помоћу софтверских програма (прилог

2, 3) тако што су технолошка времена по операцијама  $t_i$  (табела 42, колона 3) коригована (подељена) са степеном коришћења  $\mu_i$  производних потенцијала (табела 42, колона 4), који је истражен у поглављу 4.5.1. Прорачун се заснива на формулама за  $TC$  по комбинованом начину  $KPR$  и параметрима датим у колонама 6-9. Очекивано трајање  $PC$ -а износи 53,74 а укупни губици 16 календарских дана.

На основу истраживања [34] утврђено је да се укупни губици у циклусу поковавају бета расподелу при чему  $g_{sc}=M_o=15,97$  има модалну вредност односно, највећу вероватноћу.

Табела 42: Параметри за прорачун очекиваног трајања циклуса  $t_c$  и губитака  $g_{cp}$

Ред. број операције	Ознака машине	Време по операцији $t_i$ (cmh/kom)	$\mu_i$	Кориговано време по операцији (cmh/kom)	Параметри за прорачун циклуса $t_c$			
					$t_k$	$t_j$	$F_i$	$(t_i - t_{i-1}) \cdot F_i$
1	2	3	4	5=3/4	6	7	8	9
1	-	6	0,820	7	-	-	1	7
2	M1	40	0,765	52	52	-	1	45
3	-	8	0,820	10	-	10	0	
4	M2	134	0,775	173	173	-	1	163
5	-	8	0,820	10	-	10	-	
6	M1	40	0,765	52	52	-	1	42
7	-	8	0,820	10	-	10	-	
8	M3	172	0,750	229	229	-	1	219
9	-	8	0,820	10	-	10	-	
10	M4	40	0,665	60	60	-	1	50
11	-	8	0,820	10	-	10	-	
12	M5	172	0,825	208	208	-	1	198
13	M6	172	0,935	184	-	184	-	
14	M7	300	0,650	462	462	-	1	278
15	-	8	0,820	10	-	10	-	
16	-	50	0,820	61	-	-	1	51
17	-	92	0,820	112	112	-	1	51
18	M8	40	0,695	58	-	58	-	
19	-	92	0,820	112	112	-	1	54
20	M9	30	0,755	40	-	40	-	
21	-	92	0,820	112	112	-	1	72
22	-	2	0,820	2	-	-	-	
$\Sigma$		1522	-	1984	1572	342	-	1230
(139) $\wedge$ (166) $\Rightarrow t_c = (1984 + 29999 \cdot (1572 - 342)) / 100000 / 6,866 = 53,74(kd)$								
(293) $\Rightarrow g_{cp} = 53,74 - 38,62 = 15,12 \approx 16(kd)$								

На основу података из табела 41 и 42, усвојених губитак  $g_{cp}=16 kd$  и формуле (294) израчунат је парцијални губитак  $\Delta\tau=2,23 kd$ , релација (295).

$$(294) \Rightarrow \Delta\tau = \frac{38,62 + 16 - 0,38 - 7,43}{22 - 1} = 2,23 \quad (295)$$

У трећем алгоритамском кораку дефинисано је трајање  $t_{cp}$  производног циклуса  $PF$ -е **Чанче** у зависности од пројектованих услова рада  $(r_i, S_{d_i})$  и парцијалних међуоперацијских губитака  $\Delta\tau = 2,23 kd$ , релација (296).

$$(230) \Rightarrow t_{cp} = 0,38 + (22 - 1) \cdot 2,23 + 64,78 = 105,43 + 5,93 = 111,36 (kd) \Rightarrow 1. model$$

$$(230) \Rightarrow t_{cp} = 0,38 + (22 - 1) \cdot 2,23 + 19,50 = 41,41 + 24,67 = 66,08(kd) \Rightarrow 2. model$$

$$(230) \Rightarrow t_{cp} = 0,38 + (22 - 1) \cdot 2,23 + 7,43 = 22,35 + 32,32 = 54,67 (kd) \Rightarrow 3. model \quad (296)$$

Помоћу наменски креираног програма, прилог 10, дефинисани су термини почетака и завршетака производње и временске резерве  $\Delta r_i$  за све три пројектоване варијанте (табеле 43-45, колоне 4, 5, 6).

У табели 39 (колоне 3 и 4) пројектовани су услови рада за **1.** варијанту који подразумевају рад у једној смени и на једном радном месту код свих  $TO$ -а. Планирано трајање циклуса износи 111,36 а укупна временска резерва  $r = 5,93$  календарска дана. Временске резерве  $\Delta r_i$  (табела 43, колона 6), изузимајући 1. операцију, узимају вредности блиске нули (операције 20-21), вредности веће од нуле (операције 2-12, 15-16 и 20-22) и вредности мање од нуле (операције 13-14 и 17- 19). Резерве мање од нуле указују на преклапање у процесу производње.

Табела 43: Параметри производње за **1.** варијанту (табела 39) и  $\Delta\tau = 2,23$  (**1. модел**)

Ред. број операције	Планирано време $\tau_i$	$\tau_i > \tau_{i-1}$	Планирано			Пројектовани параметри
			Почетак $P_i$	Завршетак $Z_i$	Временска резерва $\Delta r_i$	
1	2	3	4	5	6	7
1	0,38		0	0,38	0	$t_{cp} = 111,36$ $\Delta r = 2,23$
2	2,91	√	2,2	5,11	1,82	
3	0,51		6,80	7,31	1,69	
4	9,44	√	9,00	18,44	1,69	
5	0,49		20,15	20,64	1,71	
6	2,91	√	22,35	25,26	1,71	
7	0,50		26,96	27,46	1,70	
8	12,01	√	29,16	41,17	1,70	
9	0,51		42,86	43,37	1,69	
10	3,22	√	45,06	48,28	1,69	
11	0,51		49,97	50,48	1,69	
12	11,44	√	52,17	63,61	1,69	
13	10,29		55,52	65,81	<b>-8,09</b>	
14	24,97	√	57,72	82,69	<b>-8,09</b>	
15	0,49		84,40	84,89	1,71	
16	3,01	√	86,60	89,61	1,71	
17	5,66	√	88,80	94,46	<b>-0,81</b>	
18	2,97		93,69	96,66	<b>-0,77</b>	
19	5,37	√	95,89	101,26	<b>-0,77</b>	
20	2,11		101,35	103,46	0,09	
21	5,61	√	103,55	109,16	0,09	
22	0,12		111,24	111,36	2,08	
-	<b>t = Σ 105,43</b>		-		<b>r = Σ 5,93</b>	
<b>(238) ⇒ <math>t_{cp} = t + r = 105,43 + 5,93 = 111,36</math></b>						



Табела 44: Параметри производње за 2. варијанту (табела 40) и  $\Delta\tau = 2,23$  (2. модел)

Ред. број операције	Планирано време $\tau_i$	$\tau_i > \tau_{i-1}$	Планирано			Пројектовани параметри
			Почетак $P_i$	Завршетак $Z_i$	Временска резерва $\Delta r_i$	
1	2	3	4	5	6	7
1	0,38		0	0,38	0	$t_{cp} = 66,08$ $\Delta\tau = 2,23$
2	1,46	√	2,2	3,66	1,82	
3	0,51		5,35	5,86	1,69	
4	3,15	√	7,55	10,70	1,69	
5	0,49		12,41	12,90	1,71	
6	1,46	√	14,61	16,07	1,71	
7	0,50		17,77	18,27	1,70	
8	4,00	√	19,97	23,97	1,70	
9	0,51		25,66	26,17	1,69	
10	1,61	√	27,86	29,47	1,69	
11	0,51		31,16	31,67	1,69	
12	3,81	√	33,36	37,17	1,69	
13	3,43		35,94	39,37	-1,23	
14	8,32	√	38,14	46,46	-1,23	
15	0,49		48,17	48,66	1,71	
16	1,51	√	50,37	51,88	1,71	
17	1,89	√	52,57	54,46	0,69	
18	1,49		55,17	56,66	0,71	
19	1,79	√	57,37	59,16	0,71	
20	2,11	√	59,57	61,68	0,41	
21	1,87		62,01	63,88	0,33	
22	0,12		65,96	66,08	2,08	
-	<b>t = Σ 41,41</b>		-		<b>r = Σ 24,67</b>	
<b>(238) ⇒ <math>t_{cp} = t + r = 41,41 + 24,67 = 66,08</math></b>						

Табела 45: Параметри производње за 3. варијанту (табела 41) и  $\Delta\tau = 2,23$  (3. модел)

Ред. број операције	Планирано време $\tau_i$	$\tau_i > \tau_{i-1}$	Планирано			Пројектовани параметри
			Почетак $P_i$	Завршетак $Z_i$	Временска резерва $\Delta r_i$	
1	2	3	4	5	6	7
1	0,38		0	0,38	0	$t_{cp} = 54,67$ $\Delta\tau = 2,23$
2	0,73	√	2,23	2,96	1,85	
3	0,51		4,68	5,19	1,72	
4	1,57	√	6,91	8,48	1,72	
5	0,49		10,22	10,72	1,74	
6	0,73	√	12,46	13,18	1,74	
7	0,50		14,91	15,42	1,73	
8	1,50	√	17,14	18,64	1,72	
9	0,51		20,37	20,88	1,73	
10	0,81	√	22,60	23,41	1,72	
11	0,51		25,13	25,64	1,72	
12	1,43	√	27,36	28,79	1,72	
13	1,29		29,74	31,02	0,95	
14	2,08	√	31,97	34,05	0,95	
15	0,49		35,79	36,28	1,74	
16	0,75	√	38,02	38,77	1,74	
17	1,89	√	40,25	42,14	1,48	
18	0,74		43,63	44,37	1,49	
19	1,34	√	45,86	47,20	1,49	
20	2,11	√	48,09	50,20	0,89	
21	1,87		50,56	52,43	0,36	
22	0,12		54,55	54,66	2,12	
-	<b>t = Σ 22,35</b>		-		<b>r = Σ 32,32</b>	
<b>(238) ⇒ <math>t_{cp} = t + r = 22,35 + 32,32 = 54,67</math></b>						

У табели 40 пројектовани су услови рада за **2.** варијанту који подразумевају рад у једној смени (колона 3) и рад на више радних места (1-3), колона 4. Планирано трајање циклуса износи 66,08 а укупна временска резерва износи  $r = 24,67$  календарска дана, табела 44. На операцијама 13 и 14 временске резерве су негативне јер пројектовани услови рада захтевају преклапање у процесу производње између 12. и 13., и 13. и 14. операције. Код осталих *ТО*-а, осим код 1. где је резерва увек једнака нула, временске резерве узимају позитивне вредности.

У табели 41 пројектовани су услови рада за трећу варијанту који подразумевају рад у 1-2 смене (колона 3) и на 1-6 радних места (колона 4), у зависности од врсте технолошког процеса и расположивих производних капацитета. Планирано трајање циклуса износи 54,67 а укупна временска резерва износи  $r = 32,32$  календарска дана, табела 45. На свим *ТО*-а, осим на првој, временске резерве  $\Delta r_i$  имају позитивне вредности што значи да нема преклапања у процесу производње између суседних технолошких операција.

На основу претходних разматрања може се закључити да на пројектовано трајање циклуса доминантно утиче планиран број радних смена у дану  $S_{d_i}$  и планиран број радних места  $r_i$  уколико је  $\Delta \tau$  константа ( $\Delta \tau = 2,23$ ). Посматрано у том контексту ако пројектовани услови рада на нивоу *ТО*-а ( $S_{d_i}, r_i$ ) повећавају укупно време  $t$  свих *ТО*-а, повећава се и планирано трајање циклуса  $t_{cp}$ , укупни планирани губици у циклусу  $g_{cp}$  и број операција код којих је планирано преклапање у процесу производње ( $\Delta r_i < 0$ ), при чему се укупна временска резерва  $r$  смањује (табеле 43, 44 и 45).

Међутим, уколико се жели, да пројектовано трајање циклуса  $t_{cp}$  буде константа, без обзира на организацију производње на нивоу технолошких операција, тада су и укупни планирани губици у циклусу  $g_{cp}$  такође константа. У том случају пројектована организација производње утиче на параметре  $t$ ,  $r$  и  $\Delta \tau$ . Са повећањем укупног времена  $t$  потребног за реализацију свих технолошких операција смањује се парцијални пројектован губитак  $\Delta \tau$  као и укупна планирана резерва  $r$ , при чему се повећава број операција са негативном временском резервом  $\Delta r_i$  (преклапање у процесу производње). Ову констатацију потврђују подаци приказани у табели 46.

Уколико се жели да пројектовано трајање циклуса износи приближно  $t_{cp} = 54,67$  календарска дана и укупни планирани губици у циклусу  $g_{cp} = 16$  дана, као у **3.**

варијанти, тада пројектован парцијални међуоперацијски губитак износи  $\Delta\tau = 1,66$  дана, табела 46 (4. модел). Пројектовани параметри организације производње се разликују и директно утичу на вредности параметара  $t$ ,  $r$  и  $\Delta\tau$ . Планирано трајање производње повећало се са  $t = 22,35$  (табела 45, колона 2) на  $t = 41,41$  (табела 46, колона 2), при чему се временска резерва са  $r = 32,32$  смањила на  $r = 13,28$  дана. За разлику од временских резерви чије су вредности у табели 45 (колона 6) позитивне, што значи да нема преклапања у процесу производње, у табели 46 (колона 6) преклапање производње је неизбежно између 12. и 13., 13. и 14., 19. и 20., и 20. и 21. *ТО*-е.

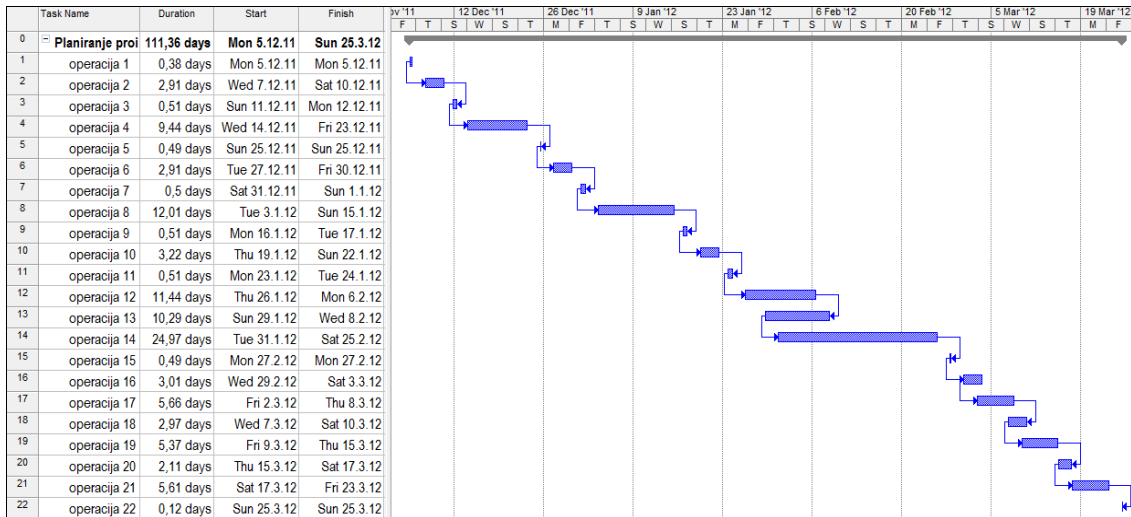
Табела 46: Параметри производње за 3. варијанту (табела 41) и  $\Delta\tau = 1,66$  (4. модел)

Ред. број операције	Планирано време $\tau_i$	$\tau_i > \tau_{i-1}$	Планирано			Пројектовани параметри
			Почетак $P_i$	Завршетак $Z_i$	Временска резерва $\Delta r_i$	
1	2	3	4	5	6	7
1	0,38		0	0,38	0	$t_{cp} = 54,67$ $\Delta\tau = 1,66$
2	1,46	√	1,66	3,11	1,28	
3	0,51		4,26	4,77	1,15	
4	3,15	√	5,91	9,06	1,14	
5	0,49		10,22	10,72	1,16	
6	1,46	√	11,88	13,34	1,16	
7	0,50		14,49	14,99	1,15	
8	4,00	√	16,15	20,15	1,16	
9	0,51		21,30	21,81	1,15	
10	1,61	√	22,96	24,57	1,15	
11	0,51		25,72	26,22	1,15	
12	3,81	√	27,37	31,18	1,15	
13	3,43		29,41	32,84	-1,77	
14	8,32	√	31,07	39,39	-1,77	
15	0,49		40,56	41,05	1,17	
16	1,51	√	42,21	43,72	1,16	
17	1,89	√	43,87	45,76	0,15	
18	1,49		45,93	47,41	0,17	
19	1,79	√	47,58	49,37	0,17	
20	2,11	√	49,24	51,35	-0,13	
21	1,87		51,14	53,01	-0,21	
22	0,12		54,55	54,66	1,54	
<b>Σ 41,41</b>			<b>Σ 13,29</b>			
(238) → $t_{cp} = 41,41 + 13,29 = 54,70$						

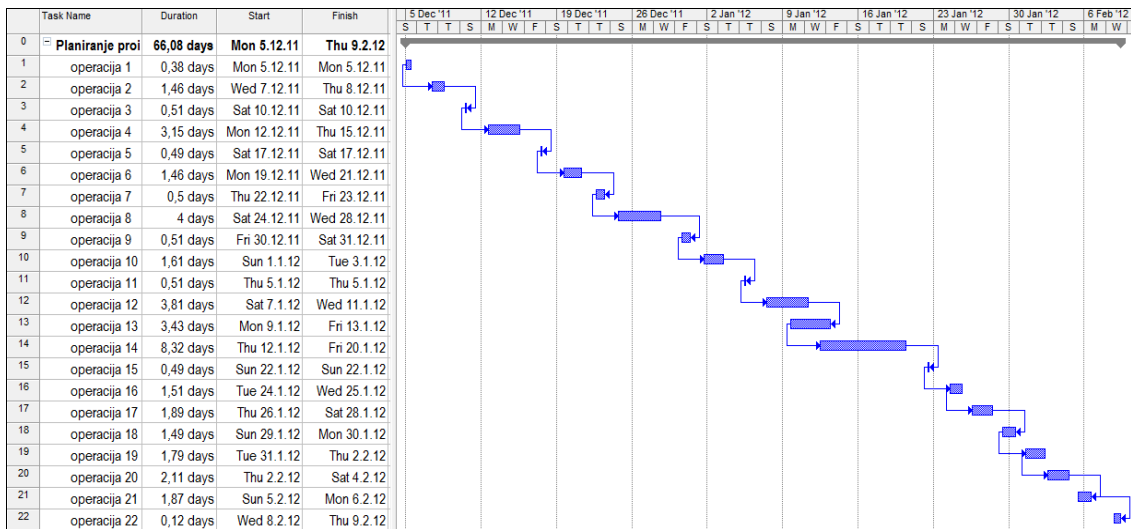
Трајање  $t_{cp}$  *РС*-а исказано је у календарским данима (*kd*) из два разлога:

1. Олакшано је фино терминирање производње (ниво технолошких операција) респектујући радни календар предузећа и одабрано софтверско окружење, и
2. Омогућена је анализа финансијске димензије производних циклуса са аспекта величине, начина и тренутка везивања обртних средстава обзиром да је календарски дан основа за обрачун камата на ангажована средства.

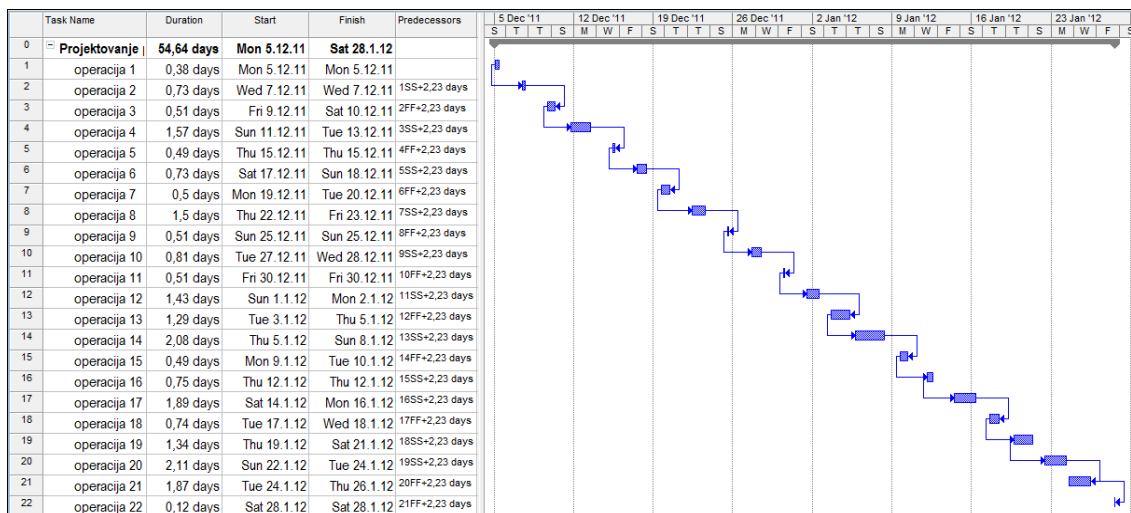
На основу података приказаних у таб. 43-46 у софтверском окружењу *MS Project* [21,143,145,176] извршено је фино терминирање производње, слике 121-124.



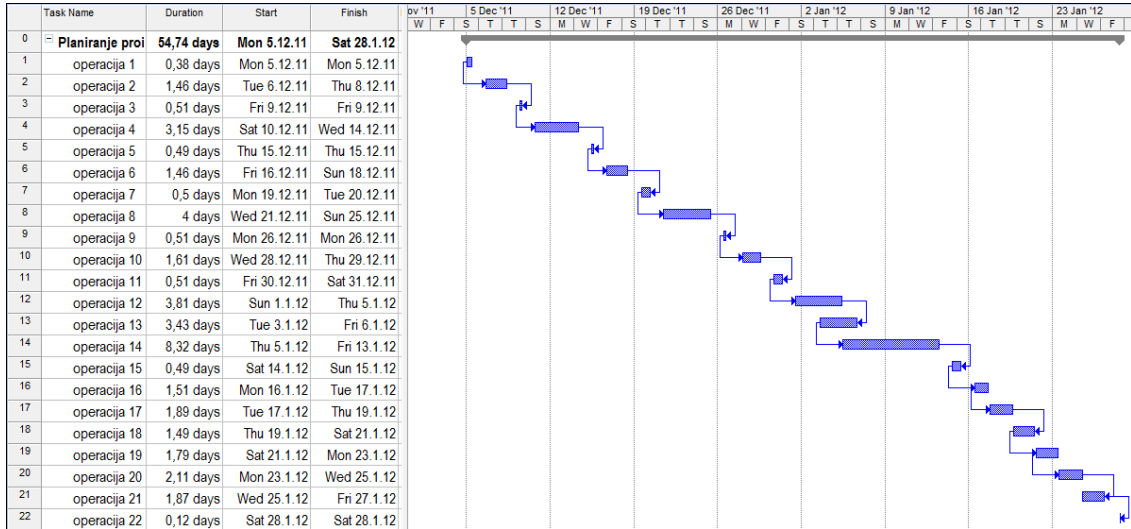
Слика 121: Фино термирање производње у MS Project-у (1. модел, табела 43)



Слика 122: Фино термирање производње у MS Project-у (2. модел, табела 44)



Слика 123: Фино термирање производње у MS Project-у (3. модел, табела 45)



Слика 124: Фино терминирање производње у MS Project-у (4. модел, табела 46)

Процес производње реализован је по 3. моделу код две серије RN-a (11/11 и 13/11) у 2011. и 2012. години. Код обе серије RN-a лансирана је количина по 30000 комада. У документу *Термин карта* уписани су најкаснији датуми почетка и завршетка производње по операцијама уважавајући податке из табеле 45 и резултате добијене применом MS Project-a, слика 123. У току реализације производних активности поред планираних уписивани су и остварени термини почетка и завршетка производње. На слици 125 приказан је документ "Термин карта" за серију радног налога 13/11.

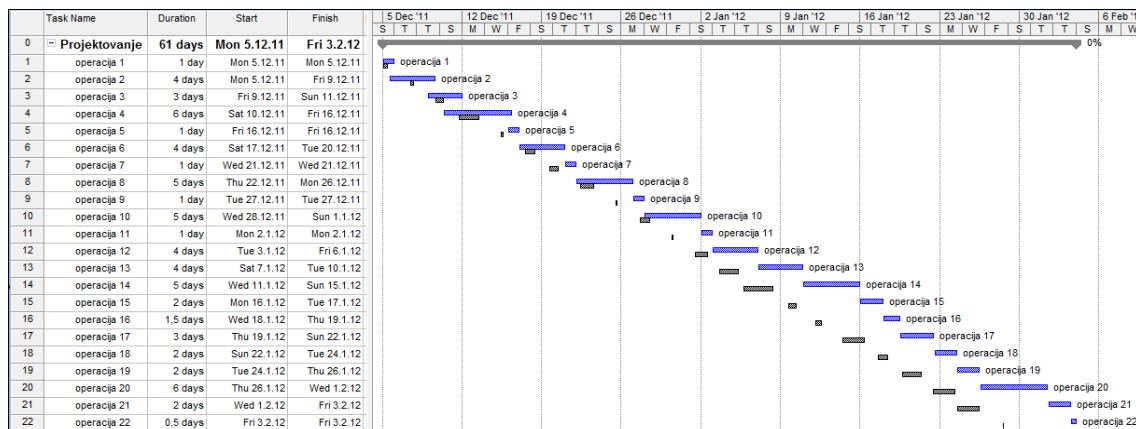
TK	Sifra dela	Naziv dela	Broj crteza	Delovodni br.	Vrednost jrn
120	176475007	Čanče	6475007		
120	201.856.250	CuZn33.38 ± 1.2 x tabla	6,7		

TEHNOLOŠKA OPERACIJA	Planirani termin	Početak	Ostvareni termin	Početak	Planirana cena operacije
Sečenje na trake	05.12.2011	05.12.2011	05.12.2011	05.12.2011	
Zarenje	07.12.2011	05.12.2011	05.12.2011	05.12.2011	
Bajcovanje	09.12.2011	09.12.2011	09.12.2011	09.12.2011	
Prosecanje i savijanje	11.12.2011	10.12.2011	10.12.2011	10.12.2011	
Pranje	15.12.2011	16.12.2011	16.12.2011	16.12.2011	
Zarenje	17.12.2011	17.12.2011	17.12.2011	17.12.2011	
Bajcovanje	19.12.2011	21.12.2011	21.12.2011	21.12.2011	
Izvlačenje	22.12.2011	22.12.2011	22.12.2011	22.12.2011	
Pranje	23.12.2011	26.12.2011	26.12.2011	26.12.2011	
Pranje	25.12.2011	27.12.2011	27.12.2011	27.12.2011	
Zarenje	27.12.2011	28.12.2011	28.12.2011	28.12.2011	
Bajcovanje	30.12.2011	02.01.2012	02.01.2012	02.01.2012	

Слика 125: Термин карта PF-е Чанче за серију RN 13/11 (3. модел)

За пројектовање и управљање производњом коришћен је софтверски алат *MS Project*. Упоредни приказ планираних и остварених активности дат је на сл. 126.



Слика 126: Упоредни приказ планираних и остварених активности по **3. моделу**

Након завршетка производње по пројектованом моделу у табели 47 приказане су остварене дужине производних циклуса ( $t_{cs}$ ), стварни губици у циклусу ( $g_{cs}$ ) и вредности коефицијента протока  $k_p$ , релација (277).

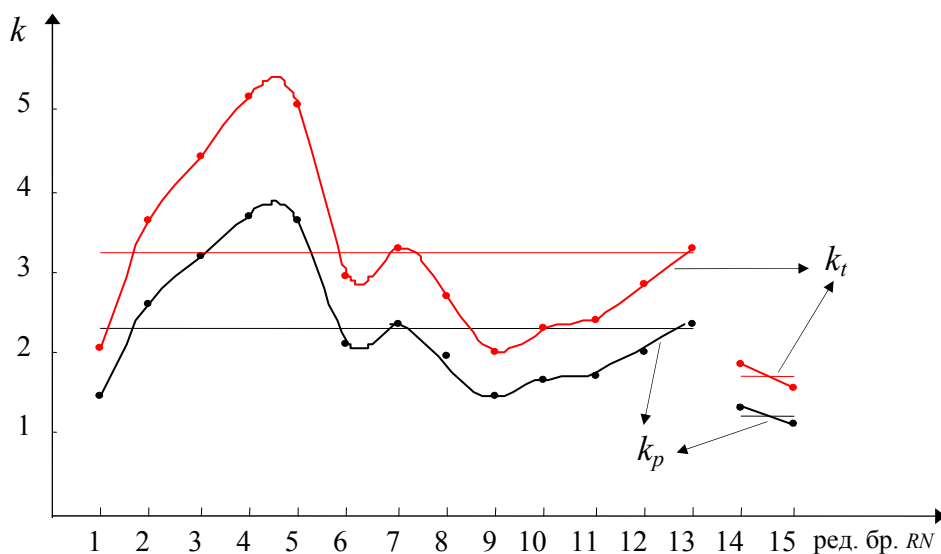
Табела 47: Показатељи *PC*-а утврђени након завршетка производње по *RN*-а

Р. б.	Радни налог				Производни циклус		$g_{cs}$	$k_p$
	Серија	Количина	Датум		$t_{cp}$	$t_{cs}$		
			Почетка	Завршетка				
1	2	3	4	5	6	7	8=7-6	9=8/7
1	11/11	30000	24.10.11.	02.01.12.	55	71	16	1,29
2	13/11		05.12.11.	03.02.12.		61	6	1,11
Аритметичка средина (просечна вредност)						<b>66</b>	<b>11</b>	<b>1,2</b>

У табели 48 приказани су збирни показатељи проточности материјала ( $t_{cs}$ ,  $g_{cs}$ ,  $k_p$ ,  $k_t$ ) за 15 радних налога *PF*-е **Чанче** чија је производња реализована у периоду 2010-2012. године. Код првих 13 налога (редни број 1-13) није пројектован циклус производње па је управљање производним процесима реализовано на бази искуства и приоритета који су дефинисали производни менаџери у Компанији. Код две серије радних налога (редни број 14 и 15, табела 48) процес производње је реализован по **3. моделу**. То значи да је трајање циклуса *ТО*-а пројектовано на основу података приказаних у табели 41 (**3. варијанта**), при чему су пројектовани параметри *PC*-а производне фазе **Чанче** дати у табели 45 и слици 123. На сликама 125 и 126 дате су пројектоване и остварене величине на бази којих су, у табели 48, дефинисани показатељи проточности материјала за 11. и 13. серију *RN*-а.

Табела 48: Упоредни показатељи проточности материјала у *PC*-у *PF*-е **Чанче**, пре (13 *RN*-а) и након лансирања производње (2 *RN*-а) по 3. пројектованом моделу

Р. б.	Радни налог		Производни циклус и губици			$k_p$	$k_t$	Производња
	Серија	Количина	$t_{cp}$	$t_{cs}$	$g_{cs}$			
1	2	3	4	5	6=5-4	7=5/4	8	9
1	04/10	30 000	55	80	25	1,45	2,07	Заснована на искуству
2	05/10			141	86	2,56	3,65	
3	06/10			171	116	3,11	4,43	
4	07/10			200	145	<b>3,64</b>	<b>5,18</b>	
5	08/10			195	140	3,55	5,05	
6	09/10			114	59	2,07	2,95	
7	10/10			127	72	2,31	3,29	
8	01/11			104	49	1,89	2,69	
9	03/11			78	23	<b>1,42</b>	<b>2,02</b>	
10	04/11			89	34	1,62	2,30	
11	05/11			93	38	1,69	2,41	
12	06/11			109	54	1,98	2,82	
13	07/11			128	73	2,33	3,31	
Просек				<b>125,3</b>	<b>70,31</b>	<b>2,28</b>	<b>3,24</b>	
14	11/11	30 000	55	71	16	1,29	1,84	Заснована на пројектованим моделима
15	13/11			61	6	1,11	1,58	
Просек				<b>66</b>	<b>11</b>	<b>1,20</b>	<b>1,71</b>	



Слика 127: Кретање коефицијената протока  $k_t$  и  $k_p$  по *RN*-а

На слици 127 приказани су односи између технолошког и стварног ( $k_t$ ) трајања циклуса односно, између пројектованог и стварног ( $k_p$ ), за 15 *RN*-а анализираних *PF*-е. На основу појединачних и просечних вредности оба коефицијента (табела 48, слика 127) може се закључити следеће:

1. Показатељи проточности материјала имају изузетно високе вредности када је процес планирања и управљања производњом заснован на искуству и без

- адекватне софтверске подршке. На основу анализе 13 *RN*-а коефицијент  $k_t$  креће се у распону од 2,02-5,18 а  $k_p$  од 1,42-3,64.
2. За два *RN*-а пројектован је циклус производње (табеле 41, 45) на постојећим документима која чине пакет *RN*-а (слика 123, 125). Након завршетка производње (слика 126, табела 47), по пројектованим моделима, и коришћењем одговарајућих софтверских алата и програма, добијене су вредности  $k_t$  од 1,58-1,84 и  $k_p$  од 1,11-1,29.
  3. Просечно остварена дужина *PC*-а производне фазе **Чанче** по пројектованом моделу мања је за 1,9 пута (табела 48, колона 5) док су просечни губици у циклусу мањи за 5,9 пута (табела 48, колона 6).
  4. Посматрано из угла производног система већу употребну вредност има коефицијент  $k_p$  јер се остварене вредности циклуса пореде са пројектованим. Посматрано у том контексту пројектовање модела представља цикличан процес који има за циљ минимизацију укупних губитака и њихово свођење на оптимални ниво.
  5. У циљу поређења резултата са другим *PPS*-а предност има коефицијент протока  $k_t$  јер се остварене вредности циклуса пореде са технолошким (идеалним) вредностима. У случају серијске понављајуће производње у Компанији Слобода *TC* је прорачунат по формулама за комбинован начин *KPR*, за производну партију  $p=1$  комад (формуле 170, 174, 175).
  6. На трајање *PC*-а и показатеље проточности доминантно утичу: количине и рокови испоруке, пројектована технолошка решења и услови рада, степен коришћења производних капацитета и укупни губици у циклусу, софтверска подршка и приступ производном менаџменту.
  7. Намена и сложеност производа, разноврсна технолошка подручја рада и опрема, глобализација пословања, развијени теоријски модели и резултати њихове примене намећу мултипројектни приступ, подржан са одговарајућом софтверском подршком, као једино ефикасно решење за проблематику производног менаџмента у Компанији "Слобода".



### 4.5.3 Функције ангажовања обртних средстава у РС-у

Статички приступ ангажовања обртних средстава заснива се на технолошким поступцима и активностима које се одвијају у оквиру реперних тачака  $TC$ -а чије трајање је условљено узастопним начином  $KPR$ . Обим парцијалних улагања детерминисан је тренутним потребама у процесу производње, док су укупна улагања, по правилу, већа од реалних потреба, што има за последицу увећан обим недовршене производње. Квалитет ангажовања обртних средстава везује се за просек, који подразумева аритметичку средину улагања на почетку и на крају репродукционог циклуса.

Динамички приступ заснива се на трајању  $PC$ -а и функцији која дефинише тренутке и обим ангажовања обртних средстава. Са аспекта квалитета економије пословања потребно је дефинисати функцију која минимизира динамички просек ангажоване масе обртних средстава, релације (264) - (266).

У табелама 49-51 приказано је ангажовање обртних средстава, по  $TO$ -а,  $i = \overline{1, n}$ , за три  $PF$ -е које се производе у количинама по  $q=1$  комад. Појединачно  $t_i$  и кумулативно трајање  $TO$ -а приказано је у колонама 2 и 3, структура ангажовања је дата у колонама 4-6 а појединачна  $a_j^{(ob)}$  и збирна  $A_j^{(ob)}$  ангажовања, по  $TO$ -а, у колонама 7 и 8. За све три  $PF$ -е израчуната су укупна  $A^{(ob)}$  и просечна  $A_p^{(ob)}$  обртна средства. Лажни упаљач (табела 49) и чаура (табела 50) су  $PF$ -е које се уграђују у производ  $D24-VG$ . Чанче (табела 51) се уграђује у производе репрезентанте. Функције (криве регресије) ангажовања обртних средстава дате су у табели 52.

Табела 49: Ангажовање обртних средстава по  $TO$ -а за *лажни упаљач* ( $q = 1$  ком)

Р. б.	$TO$ (cmh/kom)		Структура			Појединачно и укупно	
	$t_i, i = \overline{1, n}$	$\sum_{i=1}^k t_i, k = \overline{1, n}$	$W_m$	$W_r$	$W_{ov}$	$a_j^{(ob)}$	$A_j^{(ob)}$
1	2	3	4	5	6	7=4+5+6	8
0	-	-	29,6616	-	-	<b>29,6616</b>	29,6616
1	325	325	-	0,9159	0,5632	1,4791	31,1407
2	825	1150	-	2,3249	1,4297	3,7546	34,8953
3	38	1188	-	0,1071	0,0659	0,1729	35,0682
4	282	1470	-	0,7947	0,4887	1,2834	36,3516
5	268	1738	-	0,7552	0,4644	1,2197	37,5713
6	5	1743	-	0,0141	0,0087	0,0228	37,5941
7	38	1781	-	0,1071	0,0659	0,1729	37,767
$\Sigma$		-	29,6616	5,0189	3,0865	<b>37,767</b>	-
$A^{(ob)} = 37,767$ , $A_p^{(ob)} = (29,6616 + 37,767) / 2 = 33,71$							

Табела 50: Ангажовање обртних средстава по  $ТО$ -а за **чауру** ( $q = 1 \text{ ком}$ )

Р. б.	$ТО \text{ (cmh/ком)}$		Структура			Појединачно и укупно	
	$t_i, i = \overline{1, n}$	$\sum_{i=1}^k t_i, k = \overline{1, n}$	$W_m$	$W_r$	$W_{ov}$	$a_j^{(ob)}$	$A_j^{(ob)}$
1	2	3	4	5	6	7=4+5+6	8
0	-	-	73,5824	-	-	<b>73,5824</b>	73,5824
1	76	76	-	0,2142	0,1317	0,3459	73,9283
2	28	104	-	0,0789	0,0485	0,1274	74,0557
3	148	252	-	0,4171	0,2565	0,6735	74,7292
4	102	354	-	0,2874	0,1768	0,4642	75,1934
5	34	388	-	0,0958	0,0589	0,1547	75,3481
6	62	450	-	0,1747	0,1074	0,2822	75,6303
7	84	534	-	0,2367	0,1456	0,3823	76,0126
8	75	609	-	0,2114	0,1300	0,3413	76,3539
9	166	775	-	0,4678	0,2877	0,7555	77,1094
10	75	850	-	0,2114	0,1300	0,3413	77,4507
11	75	925	-	0,2114	0,1300	0,3413	77,792
12	166	1091	-	0,4678	0,2877	0,7555	78,5475
13	150	1241	-	0,4227	0,2600	0,6827	79,2302
14	68	1309	-	0,1916	0,1178	0,3095	79,5397
15	150	1459	-	0,4227	0,2600	0,6827	80,2224
16	300	1759	-	0,8454	0,5199	1,3653	81,5877
17	68	1827	-	0,1916	0,1178	0,3095	81,8972
18	68	1895	-	0,1916	0,1178	0,3095	82,2067
19	166	2061	-	0,4678	0,2877	0,7555	82,9622
20	62	2123	-	0,1747	0,1074	0,2822	83,2444
21	62	2185	-	0,1747	0,1074	0,2822	83,5266
22	214	2399	-	0,6031	0,3709	0,9739	84,5005
23	166	2565	-	0,4678	0,2877	0,7555	85,256
24	214	2779	-	0,6031	0,3709	0,9739	86,2299
25	147	2926	-	0,4142	0,2548	0,6690	86,8989
26	150	3076	-	0,4227	0,2600	0,6827	87,5816
27	150	3226	-	0,4227	0,2600	0,6827	88,2643
28	68	3294	-	0,1916	0,1178	0,3095	88,5738
29	68	3362	-	0,1916	0,1178	0,3095	88,8833
30	94	3456	-	0,2649	0,1629	0,4278	89,3111
31	561	4017	-	1,5809	0,9722	2,5531	91,8642
32	25	4042	-	0,0705	0,0433	0,1138	91,978
33	15	4057	-	0,0423	0,0260	0,0683	92,0463
34	25	4082	-	0,0705	0,0433	0,1138	92,1601
$\Sigma$		-	73,5824	11,5031	7,0741	<b>92,1601</b>	-
$A^{(ob)} = 92,1601, A_p^{(ob)} = (73,5824 + 92,1601) / 2 = 82,87$							

Без обзира на број  $ТО$ -а и њихово трајање, ангажовање обртних средстава код свих  $PF$ -а описано је регресионим кривама 1. степена (табела 52, колона 2., слика 128) са коефицијентима корелације  $R_t = 1$  (табела 52, колона 3). Ангажоване масе обртних средстава  $s^{(ob)}$  дате су у колони 4, а просечне вредности  $A_p^{(ob)}$  у колони 5.

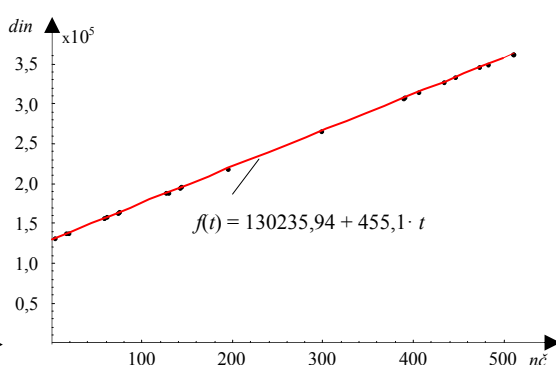
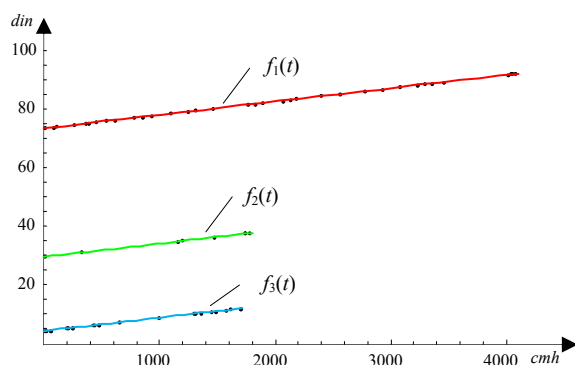
Уколико је функција обртних средстава линеарна тада су просечне вредности ангажовања идентичне и са статичког и са динамичког аспекта, табеле 49-52.

Табела 51: Ангажовање обртних средстава по *ТО*-а за **чанче** ( $q=1 \text{ кот}$ )

<i>ТО (cmh/kot)</i>			Структура			Појединачно и укупно	
Р. б.	$t_i, i = \overline{1, n}$	$\sum_{i=1}^k t_i, k = \overline{1, n}$	$W_m$	$W_r$	$W_{ov}$	$a_j^{(ob)}$	$A_j^{(ob)}$
1	2	3	4	5	6	7=4+5+6	8
0	-	-	4,341198	-	-	<b>4,341198</b>	4,341198
1	12,5	12,5	-	0,0352	0,0217	4,3981	4,3981
2	40	52,5	-	0,1127	0,0693	0,1820	4,5801
3	8	60,5	-	0,0225	0,0139	0,0364	4,6165
4	134	194,5	-	0,3776	0,2322	0,6098	5,2264
5	8	202,5	-	0,0225	0,0139	0,0364	5,2628
6	40	242,5	-	0,1127	0,0693	0,1820	5,4448
7	8	250,5	-	0,0225	0,0139	0,0364	5,4812
8	172	422,5	-	0,4847	0,2981	0,7828	6,2640
9	8	430,5	-	0,0225	0,0139	0,0364	6,3004
10	40	470,5	-	0,1127	0,0693	0,1820	6,4824
11	8	478,5	-	0,0225	0,0139	0,0364	6,5189
12	172	650,5	-	0,4847	0,2981	0,7828	7,3016
13	344	994,5	-	0,9694	0,5962	1,5655	8,8672
14	300	1294,5	-	0,8454	0,5199	1,3653	10,2325
15	8	1302,5	-	0,0225	0,0139	0,0364	10,2689
16	50	1352,5	-	0,1409	0,0867	0,2276	10,4964
17	92	1444,5	-	0,2593	0,1594	0,4187	10,9151
18	40	1484,5	-	0,1127	0,0693	0,1820	11,0972
19	92	1576,5	-	0,2593	0,1594	0,4187	11,5158
20	30	1606,5	-	0,0845	0,0520	0,1365	11,6524
21	92	1698,5	-	0,2593	0,1594	0,4187	12,0711
22	2	1700,5	-	0,0056	0,0035	0,0091	12,0802
$\Sigma$		-		4,7920	2,9470	<b>12,0802</b>	-
$A^{(ob)} = 12,0802, A_p^{(ob)} = (4,341198 + 12,0802) / 2 = 8,21$							

Табела 52: Функције и показатељи ангажовање обртних средстава *PF*-а,  $q = 1 \text{ кот}$

Р. б.	Крива регресије	$R_t$	$S^{(ob)}$	$A_p^{(ob)}$	Назив <i>PF</i> -е
1	2	3	4	5	6
1	$f_1(t) = 73,5824 + 0,00455 \cdot t$	1	338.280	82,87	<b>чаура</b>
2	$f_2(t) = 29,6616 + 0,00455 \cdot t$	1	60.045,2	33,71	<b>лажни упљач</b>
3	$f_3(t) = 4,34119 + 0,00455 \cdot t$	1	13.962,3	8,21	<b>чанче</b>



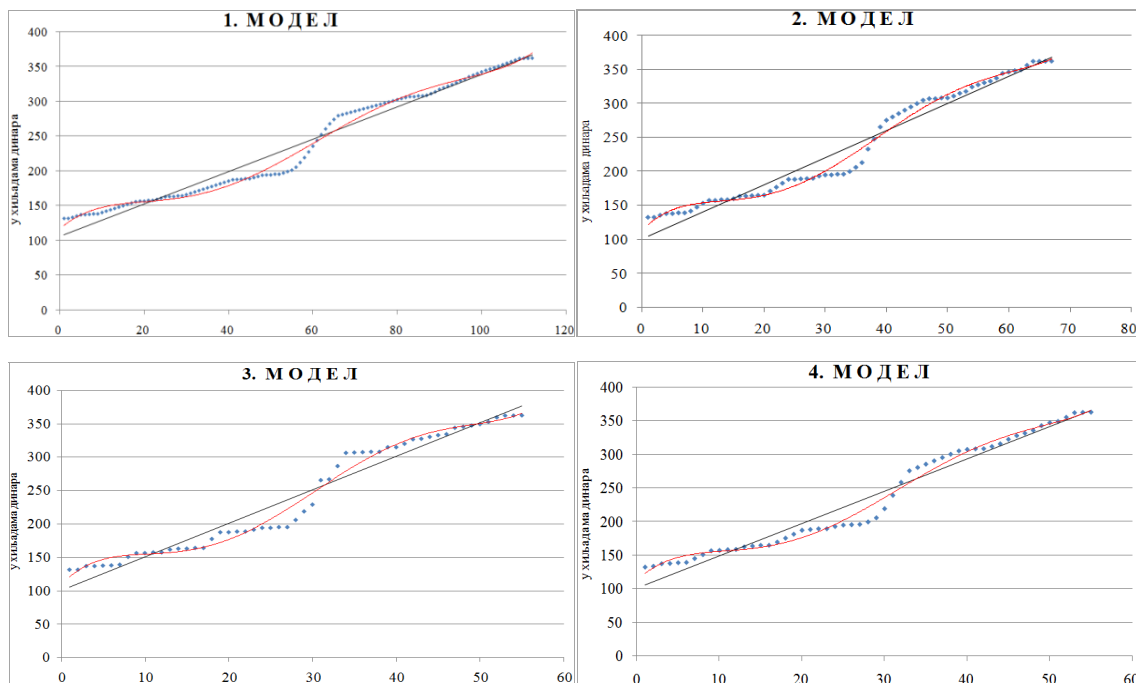
Слика 128: Функције  $f_i(t)$  за  $q=1$  (табела 52) Слика 129: Функција  $f(t)$  за  $q=30000$

Ангажовање обртних средстава  $PF$ -е **Чанче** за  $q=1$  комад дефинисано је помоћу функције  $f_3(t)$ , а за  $q=30000$  комада помоћу функције  $f(t)$ , слике 128 и 129.

Табела 53: Ангажовање обртних средстава за пројектоване моделе  $PF$ -е **Чанче**

Модели	$t_{cp}$ $kd$	Криве регресије $f(\tau)$	$R_t$	$S^{(ob)}$ дин	$A_p^{(ob)}$ дин	Напомена*
1	2	4	5	6	7=6/2	8
1.	112	$2.330,034177 \cdot \tau + 105.743,190131$	0,98	$2,63503 \cdot 10^7$	235.271	0,9%
		$0,0002 \cdot \tau^5 - 0,07 \cdot \tau^4 + 7,32 \cdot \tau^3 - 287,5 \cdot \tau^2 + 5329,3 \cdot \tau + 116511,1$	0,99	$2,63527 \cdot 10^7$	235.292	0,9%
		резултати добијени помоћу $MS Project$ -а	-	$2,65877 \cdot 10^7$	237.390	-
2.	67	$3.994,689575 \cdot \tau + 100.846,304392$	0,98	$1,56199 \cdot 10^7$	233.133	1,5%
		$0,003 \cdot \tau^5 - 0,51 \cdot \tau^4 + 32,8 \cdot \tau^3 - 816,936 \cdot \tau^2 + 9454,98 \cdot \tau + 112329,36$	0,99	$1,56137 \cdot 10^7$	233.040	1,5%
		резултати добијени помоћу $MS Project$ -а	-	$1,58566 \cdot 10^7$	236.665	-
3.	55	$5.025,8546159 \cdot \tau + 100.251,2244655$	0,98	$1,30127 \cdot 10^7$	236.594	1,8%
		$0,01 \cdot \tau^5 - 1,46 \cdot \tau^4 + 75,445 \cdot \tau^3 - 1505,96 \cdot \tau^2 + 13506,27 \cdot \tau + 108229,84$	0,99	$1,30113 \cdot 10^7$	236.569	1,8%
		резултати добијени помоћу $MS Project$ -а	-	$1,32536 \cdot 10^7$	240.975	-
4.	55	$4.798,95791116 \cdot \tau + 101.009,1255033$	0,98	$1,27105 \cdot 10^7$	231.100	1,8%
		$0,01 \cdot \tau^5 - 1,12 \cdot \tau^4 + 59,29 \cdot \tau^3 - 1219,6 \cdot \tau^2 + 11671 \cdot \tau + 111610,99$	0,99	$1,27023 \cdot 10^7$	230.951	1,9%
		резултати добијени помоћу $MS Project$ -а	-	$1,29459 \cdot 10^7$	235.379	-

\*одступање резултата  $A_p^{(v)}$  добијених помоћу крива регресије,  $A^{(ob)} = 362.405,2$  дин



Слика 130: Ангажовање обртних средстава за пројектоване моделе  $PF$ -е **Чанче**

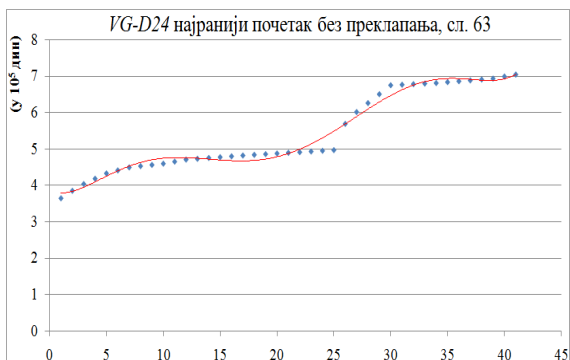
У табели 53 и на слици 130 приказане су функције ангажовања обртних средстава за пројектоване моделе  $PF$ -е **Чанче**. Функције су описане са

полиномима 1. и 5. степена. Просечно ангажована обртна средстава добијена помоћу крива регресије одступају 0,9-1,9% у односу на пројектоване вредности добијене помоћу *MS Project-a*. На овај начин је потврђена хипотеза да је при пројектовању циклуса *PF-a* (комбинован начин *KPR*) могуће, са прихватљивом тачношћу, описати ангажовање обртних средстава са линеарном функцијом.

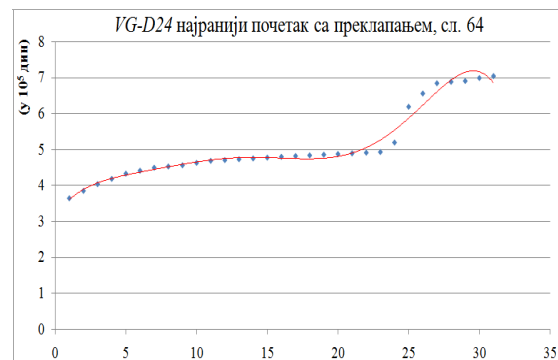
У табели 54 и сликама 131-134 приказане су функције ангажовања обртних средстава *SP-a VG-D24*. Описане су полиномима 5. и 6. степена, при чему коефицијенти корелације износе  $R_t = 0,99$  [205, 221]. Просечно ангажована средства, добијена помоћу крива регресије и формуле (271), одступају 0,2-4,4% од стварних вредности добијених *MS Project-ом*.

Табела 54: Функције ангажовања обртних средстава *SP-a VG-D24* (слике 63-66)

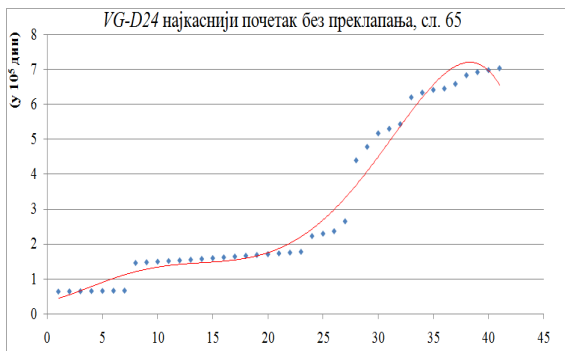
Гантови дијаграми	$\Delta r_i$	$T_{cp}$ kd	Слика	Криве регресије $f(\tau)$	$R_t$	$S^{(v)}$ дин	$A_p^{(v)}$ дин	Напомена*
1	2	3	4	5	6	7	8=7/3	9
Најранији почетак	= 0	41	63	$0,01 \cdot \tau^6 - 1,05 \cdot \tau^5 + 47,73 \cdot \tau^4 - 957,66 \cdot \tau^3 + 8.026,88 \cdot \tau^2 - 13.622,4 \cdot \tau + 384.303,82$	0,99	$2,2133 \cdot 10^7$	539.832	0,2%
	резултати добијени <i>MS Project-ом</i>				-	$2,2188 \cdot 10^7$	541.177	-
Најкаснији почетак	< 0	31	64	$-0,04 \cdot \tau^6 + 3,13 \cdot \tau^5 - 98,59 \cdot \tau^4 + 1.485,78 \cdot \tau^3 - 11.687,35 \cdot \tau^2 + 54.094,78 \cdot \tau + 317.545,32$	0,99	$1,5268 \cdot 10^7$	492.518	3,3%
	резултати добијени <i>MS Project-ом</i>				-	$1,5785 \cdot 10^7$	509.199	-
Најкаснији почетак	= 0	41	65	$-0,127 \cdot \tau^5 + 10,411 \cdot \tau^4 - 258,75 \cdot \tau^3 + 2.108,66 \cdot \tau^2 + 5.249,8 \cdot \tau + 38.070,5$	0,99	$1,2166 \cdot 10^7$	296.727	2,8%
	резултати добијени <i>MS Project-ом</i>				-	$1,2510 \cdot 10^7$	305.124	-
Најкаснији почетак	< 0	31	66	$-0,611 \cdot \tau^5 + 41,523 \cdot \tau^4 - 920,797 \cdot \tau^3 + 8.224,046 \cdot \tau^2 - 26.017,89 \cdot \tau + 167.155,11$	0,99	$0,8952 \cdot 10^7$	288.786	4,4%
	резултати добијени <i>MS Project-ом</i>				-	<b><math>0,9365 \cdot 10^7</math></b>	<b>302.116</b>	-
*одступање резултата $A_p^{(v)}$ добијених помоћу крива регресије,						$A^{(v)} = 704.000,80$ дин		



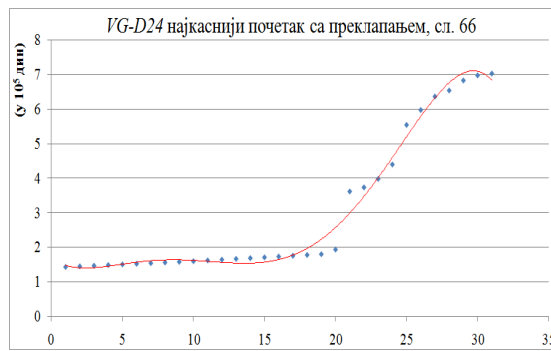
Слика 131: Функција  $f(\tau)$ , слика 63



Слика 132: Функција  $f(\tau)$ , слика 64



Слика 133: Функција  $f(\tau)$ , слика 65



Слика 134: Функција  $f(\tau)$ , слика 66

Пошто функције ангажовања обртних средстава  $f(\tau)$  нису линеарне динамички просеци (табела 55, колона 6) се знатно разликују од статичких вредности (табела 55, колона 9). Процентуална одступања су дата у колони 10.

Табела 55: Динамички и статички просеци ангажовања обртних средстава  $SP$ -а

ГД	$\Delta r_i$	$T_{cp}$ kd	Слика	Динамички просек		Статички просек			Одступање %
				$S^{(v)}$ дин	$A_p^{(v)}$ дин	$A_1^{(v)}$ дин	$A^{(v)}$ дин	$A_p^{(v)}$ дин	
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9=(7+8)/2</b>	<b>10</b>
Најранији почетак	= 0	41	63	$2,2188 \cdot 10^7$	541.177	364.687,95	704.000,8	534.344	1,28
	< 0	31	64	$1,5785 \cdot 10^7$	509.199	364.687,95		534.344	4,94
Најкаснији почетак	= 0	41	65	$1,2510 \cdot 10^7$	305.124	65.007,03		384.504	26,02
	< 0	<b>31</b>	<b>66</b>	$0,9365 \cdot 10^7$	<b>302.116</b>	143.694,21		<b>423.847</b>	<b>40,29</b>

На основу теоријских разматрања (поглавља 3.7 и 3.8) и добијених резултата (табела 54, слика 134) може се закључити, да је пројектован модел приказан на слици 66 оптималан. Трајање пројектованог циклуса  $SP$ -а је најкраће и износи **31** календарски дан а динамички просек ангажовања обртних средстава у  $PC$ -у је најмањи и износи **302.116** динара.

## 5. ЗАКЉУЧЦИ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ

Тема докторске дисертације је атрактивна и недовољно истражена како у светским размерама тако и код нас. У прилог томе говори анализа релевантних литературних извора приказаних у првом поглављу. Од 222 анализираних публикације 97 су важнији научни и стручни радови објављени у периоду од 1974-2013. године (табела 2, прилог 1).

Кроз развијене теоријске моделе (треће поглавље) и њихову практичну верификацију (четврто поглавље) дају се одговори на дилеме и уочену проблематику која до сада није решена а односи се на процес управљања производним циклусом сложеног производа. У складу са тим, **постављени научни циљ докторске дисертације, поставка теоријског оквира за развој и примену модела за опис структуре, планирање и управљање процесом производње сложеног производа уважавајући производни програм, принципе рационалне организације производње, захтеве купаца и ресурсе, је остварен.**

Водећи се полазним хипотезама и очекиваним научним доприносима у даљем тексту коментарисаће се **остварени резултати докторске дисертације.**

### 5.1 Закључци у вези претходних истраживања

Осврћући се на претходна истраживања и изведене закључке у првом поглављу може се констатовати следеће:

- Проблематиком управљања производним процесима сложеног производа (*SP*) бави се мали број аутора.
- Производни циклус *SP*-а често се поистовећује са процесом завршне финализације што је недопустиво уколико се у производном систему, поред монтаже, израђују и делови који улазе у његов састав.
- Концепције и приступи за опис структуре *SP*-а углавном се ослањају на дизајн производа који почива на конструкционој саставници и/или шемама производних токова. Делови се означавају симболима или се описују одговарајућим атрибутима тако да нису погодни за математичко моделовање.
- Новија истраживања [34, 36, 37, 46, 52] *PC*-а моделе *SP*-а заснивају на технолошкој документацији, теорији графова и теорији скупова.
- Не постоје формуле за прорачун технолошких циклуса *SP*-а.

- Реперне тачке и структура  $PC$ -а зависе од заступљеног типа производње, нивоа разраде техничке документације, степена аутоматизације, континуитета у процесу производње и узрочника застоја.
- Постоји више различитих формула за прорачун трајања технолошког циклуса у зависности од начина  $KPR$ , величине производне серије и броја производно-транспортних партија у оквиру ње, формуле (2), (3), (6)-(12), (18).
- Конфузија је нарочито присутна код комбинованог начина организације тока редоследа операција, слика 39, формуле (7)-(12) и (18).
- Односи између технолошких циклуса, у зависности од начина кретања предмета рада, нису једнозначно дефинисани, формуле (13) и (14).
- Нису разрађени свеобухватни (интегрални) модели за прорачун оптималне производне серије  $SP$ -а који респектују укупне фиксне и варијабилне трошкове  $PPS$ -а и уговорене рокове испоруке. Оптимизација се обично заснива на делу трошкова који се односе на припремно-завршна времена, складиштење и замрзавање обртних средстава делова.
- Пројектни приступ производњи  $SP$ -а захтева компатибилност између производне серије  $SP$ -а и производних серија припадајућих делова.
- Пројектовање  $PC$ -а заступљено је претежно код делова  $SP$ -а и заснива се на коефицијенту протока  $k_t$  или на утврђивању удела укупних губитака у будућим  $PC$ -а. Оба начина за предвиђање временске димензије  $PC$ -а заснована су на кривама регресије које, са одговарајућом вероватноћом, пресликавају постојеће губитке у пројектована решења.
- Утврђивање коефицијента протока  $k_t$ , код већине аутора, заснива се на прорачуну технолошког циклуса по узастопном начину кретања радних комада у производној серији, независно од начина на који се организује ток извршења технолошких операција у процесу производње. Овакав начин прорачуна има за последицу добијање вредности коефицијента које су мање од 1.
- Мали је број истраживања у којима се разрађују концепти за пројектовање циклуса производње  $SP$ -а.
- Недовољно се разматра проблематика универзалности понуђених решења, при чему је приметан недостатак истраживања која се односе на динамику ангажовања обртних средстава.



## 5.2 Закључци везани за дефиницију и структуру *PC*-а

У обимној литератури утврђено је да постоји на десетине дефиниција помоћу којих се објашњава појам *PC*-а као и више различитих приступа при опису његове структуре (слике 2 и 3, табела 2). Водећи се констатацијом да *PC* карактерише временска и финансијска димензија у раду је дата општа дефиниција *PC*-а: *Производни циклус представља временску и финансијску димензију детерминистичких и стохастичких активности које се одвијају између унапред дефинисаних - утврђених реперних тачака које омеђавају процес производње.*

Из ове дефиниције произилази његова структура која је, у најопштијем облику, приказана на слици 6, и подела која је, у зависности од трајања, приказана на слици 7. Структура *PC*-а у Компанији "Слобода" дефинисана је на основу технолошке документације и најважнијих узрочника губитака, слика 90.

## 5.3 Закључци о развијеним моделима за опис *SP*-а

До сада коришћени модели *SP*-а, засновани на конструкционој документацији (слике 11 и 12) и атрибутима које дефинише конструктор, релације (63) и (64), су непрактични и не могу се користити у области истраживања производних циклуса *SP*-а. Такође треба истаћи да број делова који чине структуру *SP*-а најчешће не одговара броју производних фаза које су дефинисане технолошким поступком.

Отклањајући овај недостатак модел *SP*-а је описан помоћу скупа технолошких процеса, релације (62), (65) и (66), респектујући технолошки и производни аспект. Процеси су означени тако да је могуће лако утврдити њихов положај у хијерархијској структури производа.

Поред поменутих релација, модел *SP*-а описан је и помоћу графа технолошке структуре. У зависности од намене граф може бити оријентисан (слика 17), неоријентисан (слика 20) и супротно оријентисан (слика 24). Ако се модел *SP*-а прошири са "нултим" и " $N+1$ . нивоом" тада су поред процеса производње у разматрање укључени и процеси снабдевања и отпреме.

Граф технолошке структуре има изглед уређеног коренског стабла у коме гране графа чине вишенивовску хијерархијску структуру. Гранама графа представљене су производне фазе (*PF*) помоћу којих се врши трансформација инпута у *SP*. Гране су повезане чворовима тако да чине логичну целину којом се описује след

заступљених процеса у производном циклусу. Скуп чворова у графу технолошке структуре чини један почетни и више унутрашњих и спољашњих, релација (58). Број спољашњих чворова указује на број *EPF*-а (елемената), а унутрашњих на број *SPF*-а (склапање, монтажа).

Приказани начини моделовања *SP*-а омогућавају његово представљање у облику матрице суседства чворова и матрице суседства грана графа. Тиме је омогућена примена рачунара при решавању сложених проблема.

Ако се помоћу тежинске функције свакој грани графа технолошке структуре додели одговарајућа тежина, модели *SP*-а могу се употребити за решавање практичних проблема из планирања и управљања производњом.

Ако су гране графа оријентисане од почетног ка спољашњим чворовима тада се говори о оријентисаном графу технолошке структуре. Приоритети су додељени *SPF*-ма, почев од завршне монтаже и паковања *SP*, па надаље, (слике 13-17). Модел *SP*-а у овом облику погодан је за процес планирања.

Уколико су гране оријентисане почев од спољашњих чворова, па надаље ка почетном чвору, тада се говори о супротно оријентисаном графу технолошке структуре, слика 24. Приоритети су додељени *EPF*-ма тако да је модел, уз описану трансформацију у мрежни дијаграм, погодан за управљање производним процесима.

У неоријентисаном графу технолошке структуре гране графа немају оријентацију, слика 20. Уз описан алгоритам трансформације овај модел *SP*-а је погодан за управљање производним процесима помоћу гантових дијаграма, слике 22 и 23.

#### **5.4 Закључци о развијеним моделима за оптимизацију производне серије *SP*-а и прорачун количина *PF*-а**

Проблематика оптимизације производне серије *SP*-а у литератури је мало третирана. Не постоје јасне процедуре и формуле које, поред уговореног рока испоруке, на одговарајући начин респектују укупне фиксне и варијабилне трошкове *PPS*-а. Често се дешава да неколико *SP*-а, из производног програма *PPS*-а, директно обликује структуру трошкова и резултате пословања. Водећи се том чињеницом развијен је модел за оптимизацију производне серије *SP*-а који се

заснива на утврђивању и анализи укупног износа трошкова *PPS*-а, за одговарајући обим производње, и њихово раслојавање на фиксну и варијабилну компоненту. Уз одговарајуће претпоставке развијен је модел и добијена је формула (116) за оптимизацију  $x_o$  производне серије *SP*-а.

Истраживања су показала да се оптимална производна серија не може добити из услова једнакости фиксних и варијабилних трошкова [4, 14], слике 35 и 36. Ову констатацију су потврдили и експериментални резултати, слике 99 и 101.

Процес планирања количина *PF*-а одвија се по нивоима оријентисаног графа технолошке структуре *SP*-а, почев од првог па закључно са последњим нивоом, при чему се оптимална количина сложеног производа  $x_o$  везује за "нулти ниво".

Развијена су три модела за планирање количина: идеални, реални и модел који узима у обзир губитке по основу квалитета. Основна разлика огледа се у броју променљивих које модели обухватају. Идеалан модел обухвата две, формула (76), реалан пет, формуле (78) и (79), док трећи модел обухвата три променљиве, формуле (82) и (83).

### 5.5 Закључци о развијеним моделима за прорачун *ТС*-а

У раду је извршена провера валидности постојећих релација и на основу добијених резултата дефинисане су нове формуле за прорачун трајања *ТС*-а, почев од технолошке операције и производне фазе, па закључно са *SP*-ом.

На основу изведених формула у поглављу 3.5.1 дефинисан је универзално применљив концепт за прорачун **технолошких циклуса операција**  $t_i^{(o)}$ , релације (167) - (169) и **технолошких циклуса производних фаза**  $t_i$ , релације (170) - (177), у зависности од вредности параметара  $q, p, \tau_{uo_i}, y$  и начина *KPR*.

За прорачун технолошких циклуса *PF*-а по комбинованом начину *KPR* развијена су **два модела**, праћена одговарајућим доказима. Први модел, релација (174), се заснива на поређењу времена три суседне операције, формуле (139), (140) и слика 39. Други модел, релација (175), се заснива на поређењу времена две суседне операције, формуле (146), (147) и слике 40, 41.

Респектујући чињеницу да у литератури постоји више образаца (3), (7)-(12), (18) за прорачун технолошког циклуса *PF*-а по комбинованом начину *KPR*

извршена је провера валидности свих наведених формула поређењем резултата (табела 9) са гантовим дијаграмима (слика 42).

Утврђено је да релације (12), (139) и (140) дају идентичне (тачне) резултате као код гантових дијаграма, као и релација (18), уз додатно дефинисана ограничења. Остале формуле не дају тачне резултате.

Дефинисани су и потврђени услови под којима је  $TC$  по комбинованом и паралелном начину  $KPR$  идентичан. Услови су дефинисани помоћу релација (149)-(152).

Међутим, идентично трајање  $TC$ -а нема за последицу идентичне вредности укупних технолошких застоја на нивоу  $PF$ -е. Ово сазнање је од изузетног значаја приликом технолошке разраде процеса производње као и при пројектовању производних циклуса  $PF$ -а.

Под условом да је производна серија  $q$  константна, утврђено је да се са повећањем производне партије  $p$  повећава трајање  $TC$ -а по комбинованом и паралелном начину  $KPR$ . Код узастопног начина производна партија не утиче на трајање циклуса.

На основу резултата приказаних у табели 12 може се закључити да је трајање  $TC$ -а и унутароперацијских застоја, на нивоу технолошке операције и  $PF$ -е, обрнуто пропорционално величини производне партије.

Развијена су два оригинална програма за прорачун технолошких циклуса операција и производних фаза,  $PPTCOPF3$  (прилог 2) и  $PPTCOPF2$  (прилог 3), креирана у оквиру софтверског алата *Mathematica*.

Технолошки циклус  $SP$ -а по узастопном, паралелном и комбинованом начину  $KPR$ , праћен одговарајућим доказима и примером, дефинисан је општом формулом (195).

У зависности од вредности параметара  $q_j, p_j, z$  и осталих услова који се односе на трајање технолошких операција, дефинисани су  $TC$ -и по узастопном (197), паралелном (198) и комбинованом (199) начину  $KPR$ , као и односи између њих (196) и (200).

Написана су два оригинална програма у софтверском пакету *Mathematica*, за прорачун  $TC$ -а подграфова (прилог 4) и за прорачун  $TC$ -а  $SP$ -а (прилог 5).

## 5.6 Закључци о развијеним моделима за пројектовање *PC*-а

Пројектовање као сталан, динамичан и цикличан процес има за циљ перманентну тежњу ка минимизацији губитака што значи да укупни пројектовани (планирани) губици треба увек да буду мањи од остварених.

Дефинисан је модел за пројектовање трајања производње по операцијама који, за разлику од технолошких вредности циклуса по комбинованом начину *KPR*, уважава реалне услове у којима се одвија производни процес, (205) - (210).

Дефинисана су два модела за пројектовање циклуса *PF*-е. *Први модел*, релација (217), заснива се на циклусима *TO*-а, који су увећани за планиран износ парцијалних губитака, и комбинованом начину организације тока редоследа операција, формула (211), слике 54 и 55. *Други модел пројектовања циклуса PF*-а, релација (230), полази од претпоставке да су планирани губици расподељени између технолошких операција, слике 56 и 57, формула (226).

Развијен је модел за пројектовање циклуса *SP*-а који се заснива на графу технолошке структуре, организацији процеса производње, која максимално уважава реалне услове у којима се одвијају репродукциони токови, и описаној методологији пројектовања, почев од *TO*-а, преко *PF*-а, па закључно са карактеристичним путевима у графу. Сходно томе дефинисана су три начина за пројектовање *PC*-а *SP*-а.

*Први начин* се заснива на супротно оријентисаном графу, формулама (204) - (249) и на анализи циклуса *PF*-а у оквиру карактеристичних путева у графу.

*Други начин* се заснива на процесу трансформације графа технолошке структуре *SP*-а (слике 17, 20, 21, 22 и 23) у гантове дијаграме (слике 63, 64, 65, 66) и примени одговарајућих софтверских решења, за управљање производним процесима, базираних на овој методологији.

*Трећи начин* пројектовања *PC*-а *SP*-а заснива се на процесу трансформације супротно оријентисаног графа технолошке структуре у мрежу (слике 24-27) и примени техника мрежног планирања (*CPM*, *PERT*, *PDM*).

На основу пројектованог начина производње дефинисане су функције појединачног и укупног ангажовања обртних средстава у *PC*-у *SP*-а, формуле (268)-(271), слика 74.

### 5.7 Закључци о техно-економским показатељима проточности материјала

Већина аутора разматра само три параметра ( $t_i$ ,  $t_{cs}$  и  $k_i$ ) проточности материјала. Међутим, узимајући у обзир временску и финансијску димензију  $PC$ -а, у раду су дефинисани следећи показатељи проточности материјала:

- у зависности од начина  $KPR$  у процесу производње и других ограничења везаних за прорачун  $TC$ -а: оптималне производне серије ( $q_i$ ) и партије ( $p_i$ ) делова, трајање ( $t_{ii}$ )  $TC$ -а свих  $PF$ -а, критичан пут у графу ( $P_{k,1}$ ) и трајање  $TC$ -а  $SP$ -а ( $T_{tk,1}$ ), релација (273).
- засновани на анализи  $PC$ -а: стварно трајање циклуса свих  $PF$ -а ( $t_{csi}$ ) и  $SP$ -а ( $T_{csj,1}$ ), критичан пут  $P_{j,1}$ , најважнији узрочници ( $\alpha = \overline{1, \omega}$ ) губитака производних капацитета и њихов утицај на губитке  $g_\alpha$ , релација (274).
- засновани на поређењу идеалних и остварених величина: укупни губици ( $g_{csi}, G_{csj,1}$ ) и коефицијент протока ( $k_{ti}, K_t$ ) на нивоу  $PF$ -а и  $SP$ -а у целини, релација (275).
- засновани на пројектованим вредностима циклуса: планирани унутароперацијски и међуоперацијски губици ( $g_{cpj}, \Delta \tau_i^{(j)}$ ), трајање циклуса  $TO$ -а ( $t_{pi}^{(j)}$ ), тежине ( $w_j$ ) и трајање циклуса  $PF$ -а ( $T_j$ ), планирани међуфазни губици ( $\Delta T_{j+1}$ ), критичан пут ( $P_{v,1}$ ) и трајање циклуса  $SP$ -а ( $T_{cpv,1}$ ), релација (276).
- засновани на поређењу пројектованих и остварених величина: губици у циклусу ( $g_{csj}, G_{csv,1}$ ) и коефицијент протока ( $k_{pj}, K_p$ ) који су настали као последица пројектованог начина производње, релација (277).
- засновани на рационалном пословању и оптималном ангажовању средстава: функције парцијалног  $p(t)$  и кумулативног  $v(t)$  ангажовања, маса укупних  $S^{(v)}$  и просечних  $A_p^{(v)}$  обртних средстава, релација (278).

## 5.8 Закључци који се односе на верификацију развијених модела

Експериментални део истраживања реализован је у Компанији "Слобода" у чијем се производном програму налази преко 200 *SP*-а различите намене. Анализирајући карактеристике одабраног *PPS*-а (табеле 17 и 18, слике 75-86) дошло се до закључка да су развијени теоријски модели за пројектовање и управљање производњом *SP*-а применљиви у условима и ограничењима наменске производње јер садрже кључне параметре који утичу на временску и финансијску димензију *PC*-а.

Избор репрезентативног узорка заснива се на уговореним обавезама за извоз (табела 19) чија реализација почиње 2010. године. Анализиран уговор, по обиму производње и укупном приходу, доминантно учествује у бизнис плановима у периоду 2010-2012. (5 *SP*-а, 1,5 милиона јединица производа, вредност 52 милиона долара).

Експеримент је реализован кроз три фазе имајући у виду постојеће информационе токове и логичан след тестирања развијених модела (слика 87).

У оквиру **прве фазе** експеримента дефинисана је структура *PC*-а (слика 90) на основу технолошке документације и најважнијих узрочника губитака. Користећи технолошке поступке и анализом вишеваријантних решења израде *PF*-а, табела 23, дефинисани су оријентисани мултиграфови (слике 91-94) и графови технолошке структуре *SP*-а (слике 95-98). На основу програма датог у прилогу 6 добијени су параметри графова технолошке структуре производа репрезентаната (табела 24) који указују на: укупан број *PF*-а на нивоу производа (51, 48, 95, 100), број *EPF*-а (34, 32, 65, 70), број *SPF*-а (17, 16, 30, 30), број нивоа (9, 9, 10, 10), број карактеристичних путева (34, 32, 65, 70), максималан број *PF*-а на једном нивоу (14, 14, 25, 24) итд.

У оквиру **друге фазе** експеримента прво је извршен прорачун оптималне производне серије сложених производа, табела 27, и потребних количина припадајућих *PF*-а, табела 28. Затим је анализирана осетљивост добијених решења (слике 100 и 102) помоћу програма креираног у софтверском окружењу *Mathematica* (прилог 9). Следећи корак, друге фазе, везан је за прорачун технолошког, табеле 29-32 и утврђивање стварног циклуса сложених производа, табела 33. Технолошки циклуси по комбинованом начину *KPR*-а, на нивоу

репрезентативног узорка, крећу се у интервалу од 116-189 календарских дана док коефицијент протока  $K_t$  узима изузетно високе вредности и креће се у интервалу велике ширине од 1,21 - 4,56 што је недопустиво, имајући у виду да је заступљен серијски тип производње. Путеви који детерминишу технолошки и производни (стварни) циклус се не подударају. Стварно трајање  $PC$ -а  $SP$ -а детерминишу карактеристични путеви у графу  $SP$ -а који немају статус критичних. На добијене резултате утиче више фактора објективне и субјективне природе: серијска производња ових производа није уходана, поједини делови се уграђују у више производа, планирање и управљање производњом засновано је на искуству са високим степеном децентрализације и непоузданим подацима, низак ниво информатичке подршке, недовољно коришћење производних капацитета изазвано већим бројем узрочника губитака, производни процеси засновани су на принципу "гурања", нереално планирање са неусаглашеном динамиком снабдевања.

**Трећа фаза** експеримента се односи на пројектовање временске димензије  $PC$ -а  $PF$ -е која улази у састав склопа који се налази на критичним путевима производа репрезентаната. Имајући у виду да се анализирана  $PF$ -а производи у три дислоциране организационе јединице, да је ангажовано 9 различитих машина и заступљено 10 врста технологија прво је извршена квантификација утицајних параметара на пројектовање  $PC$ -а, табеле 35 и 36. Истраживањем је утврђено да просечно коришћење машина у 2010. години износи 51,5%, а појединачно се креће у интервалу од 37-69,5%. Анализом показатеља релевантних за коришћење производних људских ресурса дошло се до закључка да су губици радног времена по основу боловања (7,95%) и годишњег одмора (11,4%) високи, што је последица неповољне старосне структуре. Од укупно 800 производних радника просечно сваки дан одсуствује 27% или 216 радника током године.

У фази пројектовања развијене су три варијанте (у зависности од пројектованих услова рада по  $TO$ -ма), табеле 39-41, и четири модела (у зависности од усвојених вредности парцијалних међуоперацијских губитака), табеле 43-46, по којима је могуће лансирати  $RN$ -е. Пре лансирања производње по пројектованом моделу извршена је анализа  $PC$ -а 13  $RN$ -а при чему је утврђено да су губици у циклусу изразито високи (од 39,4 до 161,4 календарска дана) и да се коефицијент протока  $k_t$  креће у интервалу од 2,02 до 5,18.



Процес производње реализован је по **3. моделу** код две серије *RN*-а у 2011. и 2012. години, при чему је, за пројектовање и управљање производњом коришћен софтверски алат *MS Project*.

На основу добијених вредности коефицијената протока  $k_t$  и  $k_p$  може се закључити следеће:

- Показатељи проточности материјала имају изузетно високе вредности ( $k_t$  креће се у распону од 2,02-5,18 а  $k_p$  од 1,42-3,64) када је процес планирања и управљања производњом заснован на искуству и без адекватне софтверске подршке. Насупрот томе, по пројектованом моделу и коришћењем одговарајућих софтверских алата и програма, добијене су вредности  $k_t$  од 1,58-1,84 и  $k_p$  од 1,11-1,29.
- Просечно остварена дужина *PC*-а *PF*-е, по пројектованом моделу, мања је за 1,9 пута док су просечни губици у циклусу мањи за 5,9 пута.
- Посматрано из угла производног система већу употребну вредност има коефицијент  $k_p$  јер се остварене вредности циклуса пореде са пројектованим.
- У циљу поређења резултата са другим *PPS*-а предност има коефицијент протока  $k_t$  јер се остварене вредности циклуса пореде са технолошким (идеалним) вредностима. У случају серијске понављајуће производње у Компанији Слобода *TC* је прорачунат по формулама за комбинован начин *KPR*, за производну партију  $p=1$  комад.
- На трајање *PC*-а и показатеље проточности доминантно утичу: количине и рокови испоруке, пројектована технолошка решења и услови рада, степен коришћења производних капацитета и укупни губици у циклусу, софтверска подршка и приступ производном менаџменту.
- Намена и сложеност производа, разноврсна технолошка подручја рада и опрема, глобализација пословања, развијени теоријски модели и резултати њихове примене намећу мултипројектни приступ, подржан са одговарајућом софтверском подршком, као једино ефикасно решење за проблематику производног менаџмента у Компанији Слобода.

У другом делу *треће фазе* експеримента анализирана је динамика ангажовања обртних средстава код једног *SP*-а и код три *PF*-е. На основу добијених резултата може се закључити следеће:

- Без обзира на број *TO*-а и њихово трајање, ангажовање обртних средстава код свих *PF*-а може се описати регресионим кривама 1. степена, са коефицијентом корелације  $R_r=1$ , док су са статичког и са динамичког аспекта просечне вредности ангажовања обртних средстава идентичне, табеле 49-52, слика 128.
- Функције ангажовања обртних средстава за пројектоване моделе анализиране *PF*-е описане су полиномима 1. и 5. степена, табела 53, слика 130. Просечно ангажована обртна средства добијена помоћу крива регресије одступају 0,9-1,9% у односу на пројектоване вредности добијене помоћу *MS Project*-а. На овај начин је потврђена хипотеза да је при пројектовању циклуса *PF*-а (комбинован начин *KPR*) могуће, са прихватљивом тачношћу, описати ангажовање обртних средстава са линеарном функцијом.
- Функције ангажовања обртних средстава *SP*-а описане су полиномима 5. или 6. степена, при чему коефицијенти корелације износе  $R_r=0,99$ , табела 54, слике 131-134. Просечно ангажована средства, добијена помоћу крива регресије и формуле (271), одступају 0,2-4,4% од стварних вредности добијених *MS Project*-ом, табела 54. Пошто функције ангажовања обртних средстава нису линеарне, динамички просеци се знатно разликују од статичких вредности (од 1,28% до 40,29%), табела 55. Сходно томе, препорука је да се искључиво користе динамички просеци ангажовања обртних средстава када је у питању *SP*. На основу анализе података из табела 54 и 55 може се закључити да је пројектован модел *SP*-а на слици 66 оптималан (*PF*-е се производе у најкаснијем почетку са максималним преклапањем зависних *PF*-а). У односу на друге пројектоване варијанте, слике 63-65, трајање пројектованог циклуса је најкраће (31 календарски дан) а динамички просек ангажовања обртних средстава у производном циклусу најмањи (302.116 динара).

### 5.9 Практична корист и ограничења спроведеног истраживања

Развијени модели у докторској дисертацији дају нова теоријска знања која омогућавају **практичну корист** за *PPS*-е у циљу унапређења пословања, повећања обима производње и испуњења уговорених обавеза. На основу добијених резултата очекује се примена предложене методологије у оперативнопланској и производној пракси Компаније "Слобода". Примена теоријских модела и очекивани ефекти могу се остварити у оквиру постојеће документације и информационог система. С обзиром да је експеримент реализован у *SPPS*-у, где је заступљена серијска понављајућа производња са прекидним током технолошког процеса, закључци истраживања се могу генерализовати на индустријска предузећа Србије, па чак и шире.

У експерименталном делу дисертације, као потенцијално **ограничење**, може се сматрати чињеница да су пројектовани модели спроведени за серијску производњу и комбинован начин *KPR*-а. Међутим, модели су применљиви код свих типова производње и начина *KPR*-а уз коришћење одговарајућих образаца приказаних у дисертацији под условом да су производна и непроизводна времена дефинисана технолошким поступцима и да је истражена структура губитака у циклусу.

### 5.10 Предлог даљих истраживања

Ширина, значај и актуелност теме, која је у раду третирана са временског и финансијског аспекта, и постигнути резултати, омогућавају даља истраживања која се односе на:

1. Примену развијених теоријских модела у условима појединачне и масовне производње.
2. Примену развијених теоријских модела у другим гранама индустрије (прехрамбена, дрвна итд.).
3. Имплементацију развијених софтверских решења у постојећи информациони систем *PPS*-а.
4. Планирање обртних средстава на нивоу *SP*-а у циљу минимизације недовршене производње и повећања коефицијента обрта.

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] Agrawal A., Minis I., Nagi R., Cycle time reduction by improved MRP-based production planning, *International Journal of Production Research*, vol. 38, no. 18, p4823-4841, 2000.
- [2] Alfieri A., Tolio T., Urgo M., A project scheduling approach to production planning with feeding precedence relations, *International Journal of Production Research*, vol. 49, no. 4, p995-1020, 2011.
- [3] Бабић М., Ахметагић Е., Организација предузећа, Економски факултет Суботица, Суботица, 1994.
- [4] Бацковић М., Вулета Ј., Економско математички методи и модели, ЦИД Економски факултет Београд, Београд, 2000.
- [5] Балтић В., Теорија графова, Факултет организационих наука Универзитета у Београду, Београд, 2008.
- [6] Berlec T., et al., Optimization of a Product Batch Quantity, *Strojniški vestnik - Journal of Mechanical Engineering*, vol. 60, no. 1, p35-42, 2014.
- [7] Berlec T., et al., Predicting Order Lead Times, *Strojniški vestnik - Journal of Mechanical Engineering*, vol. 54, no. 5, p308-321, 2008.
- [8] Бичанин В.В., Економика, организација производства и менаџмент в машиностроени, ПГУ, Новополицк, 2014.
- [9] Бојанић П., Управљање производњом преко радних налога, Магистарски рад, Машински факултет Универзитета у Београду, Београд, 1974.
- [10] Bondy J.A., Murty S.R., *Graph theory with applications*, Elsevier Science Publishing Co., New York, 1976.
- [11] Божић В., Економика бизниса, Факултет организационих наука Универзитета у Београду, Београд, 1966.
- [12] Божин М., Радојичић М., Организација и управљање, Технички факултет у Чачку, Чачак, 1996.
- [13] Булат В., Индустриски менаџмент, ИЦИМ, Крушевац, 1999.
- [14] Булат В., Организација производње – анализа и синтеза, ИЦС Београд, Београд, 1976.
- [15] Булат В., Организација производње, Машински факултет Универзитета у Београду, Београд, 1987.
- [16] Булат В., Општи закон динамичког уравнотежавања, ИЦИМ, Крушевац, 2000.
- [17] Булат В., Теорија организације, Информатор, Загреб, 1977.
- [18] Булат В., Бојковић Р., Организација производње, ИЦИМ, Крушевац, 2001.
- [19] Булат В., Кларин М., Менаџмент производних процеса, ИЦИМ, Крушевац, 2001.
- [20] Burton R., Obel B., *Fit and Misfits in the Multi-Dimensional Contingency Model: An Organizational Change Perspective*, Lok Center, Danish Social Science Research Council, 2000.
- [21] Chatfield C., Johanson T., *Microsoft Office Project 2002 Step by step*, Microsoft Press, 2002.
- [22] Chen C.Y.J., George E.L., Tardif V., A Bayesian model of cycle time prediction, *IE Transactions*, vol. 33, no. 10, p921-929, 2001.

- [23] Chincholkar M., Design for Production: Using Manufacturing Cycle Time Information to Improve Product Development, Thesis (Ph.D.), Institute for Systems Research, University of Maryland, 2002.
- [24] Cudney E., Implementing Lean Manufacturing, Manufacturing engineering, vol. 144, no. 3, p83-89, 2010.
- [25] Цветков Ц., Проблеми на календарното планирање в серийното машиностроение, Наука и изкуство, Софија, 1972.
- [26] Цветковић Д., Теорија графова и њене примене, Научна књига, Београд, 1990.
- [27] Čala I., et al., Development of a stochastic model for determining the elements of production cycle time and their optimization for serial production in metal processing industry and recycling processes. Proceedings of I International Symposium Engineering Management And Competitiveness (EMC2011), University of Novi Sad, Technical faculty "Mihajlo Pupin", Zrenjanin, p21-24, 2011.
- [28] Дешић В., Методе научне организације рада, Научна књига, Београд, 1966.
- [29] Diestel R., Graph Theory, Springer-Verlag Heidelberg, New York, 2005.
- [30] Doboviček S., et al., Graphical depicting of processing cycle in multiproduct production system, 14th International Research/Expert Conference, TMT 2010, Mediterranean Cruise, p701-704, 2010.
- [31] Donaldson L., The Contingency Theory of Organizations, Sage Publications, London, 2001.
- [32] Dossenbach T., Manufacturing Cycle Time reduction - A Must in Capital Project Analysis, Wood & Wood Products, vol. 105, no. 11, p31-35, 2000.
- [33] Дубоњић Р., Милановић Љ.Д., Инжењерска економија, ИЦИМ, Крушевац, 2005.
- [34] Ђукић Р., Динамичко уравнотежење и управљање сложеним пословно-производним системима, Докторска дисертација, Машински факултет Универзитета у Београду, Београд, 2010.
- [35] Ђукић Р., Мерење искоришћења производних капацитета методом максималне месечне производње, 31. саветовање производног машинства са међународним учешћем, Крагујевац, 2006.
- [36] Ђукић Р., Моделирање структуре сложеног производа за подршку just-in-time концепту, 30. јубиларно саветовање производног машинства СЦГ, Чачак-Врњачка бања, 2005.
- [37] Ђукић Р., Планирање и управљање производњом сложеног производа, 10. интернационални симпозијум из Project Management-a, YUPMA, Златибор, 2006.
- [38] Ђукић Р., Утврђивање и мерење узрочника губитака производних капацитета, 30. јубиларно саветовање производног машинства СЦГ, Чачак-Врњачка бања, 2005.
- [39] Ђукић Р., Брадић З., Јовановић Ј., Стефановић М., Планирање производње сложеног производа, XXXIII Саветовање производног машинства Србије са међународним учешћем (СПМС 2009), Машински факултет Београд, Београд, 2009.
- [40] Ђукић Р., Ђукић Р.Ј., Организација и економика бизниса, Виша техничка школа, Чачак, 2006.

- [41] Ђукић Р., Ђукић Р.Ј., Планирање производње, Виша техничка школа, Чачак, 2007.
- [42] Ђукић Р., Ђукић Р.Ј., Утврђивање технолошке дужине производног циклуса при комбинованом начину кретања предмета рада у појединачној и малосеријској производњи, Фестивал квалитета – 34. Национална конференција о квалитету, 2. Национална конференција о квалитету живота, Крагујевац, 2007.
- [43] Ђукић Р., Јовановић Р.Ј., Организација производње, Висока школа техничких струковних студија Чачак, Чачак, 2010.
- [44] Ђукић Р., Јовановић Р.Ј., Увод у менаџмент, Висока школа техничких струковних студија Чачак, Чачак, 2010.
- [45] Ђукић Р., Јовановић Р.Ј., Управљање производним процесима - практикум, Висока школа техничких струковних студија Чачак, Чачак, 2011.
- [46] Ђукић Р., Јовановић Р.Ј., Управљање производњом коришћењем софтвера MS Project, Фестивал квалитета – 36. Национална конференција о квалитету, Крагујевац, 2009.
- [47] Ђукић Р., Јовановић Р.Ј., Утицај људских ресурса на динамичко управљање производним системима, XXXV Јупитер конференција са међународним учешћем, Машински факултет, Београд, 2009.
- [48] Ђукић Р., Јовановић Р.Ј., Примена MS Project-а у области производње сложеног производа, Четрнаесто саветовање SQM2010, Универзитет Црне Горе – Машински факултет у Подгорици, Тиват, 2010.
- [49] Ђукић Р., Јовановић Р.Ј., Примена MS Project-а у области производње сложеног производа, Квалитет, вол. 20, бр. 7-8, стр. 87-89, 2010.
- [50] Ђукић Р., Јовановић Р.Ј., Теорија и пракса организације и производног менаџмента, Фестивал квалитета, 36. Национална конференција о квалитету – Интегрисани системи менаџмента, Машински факултет, Крагујевац, 2009.
- [51] Ђукић Р., Јовановић Р.Ј., Мутавцић М., Истраживање степена коришћења машинских капацитета, узрочника застоја и структуре губитака, XXXV Јупитер конференција са међународним учешћем, Машински факултет, Београд, 2009.
- [52] Ђукић Р., Јовановић Р.Ј., Стефановић М., Анализа и пројектовање производног циклуса сложеног производа, 34. Јупитер конференција са међународним учешћем, Машински факултет, Београд, 2008.
- [53] Ђукић Р., Јовановић Р.Ј., Стефановић М., Утврђивање технолошке дужине производног циклуса, 34. Јупитер конференција са међународним учешћем, Машински факултет, Београд, 2008.
- [54] Ђукић Р., Милановић Д.Д., Јовановић Р.Ј., Програм за утврђивање степена коришћења машинских капацитета, Фестивал квалитета - 37. Национална конференција о квалитету, Крагујевац, 2010.
- [55] Ђукић Р., Париповић Б., и др., Анализа људских ресурса у производном систему “Слобода“ Чачак, Техника и пракса, бр. 2, стр. 15-20, Висока школа техничких струковних студија Чачак, Чачак, 2010.
- [56] Ђукић Р., Радуловић В., и др., Коришћење машинских капацитета и анализа актуелних губитака, Техника и пракса, бр. 2, стр. 7-14, Висока школа техничких струковних студија Чачак, Чачак, 2010.

- [57] Eckert M.C., Clarkson P.J., Planning development processes for complex products, *Research in Engineering Design*, vol. 21, no. 3, p153-171, 2010.
- [58] Fitouhi C.M., Cycle time in the lumber industry supply chain - diagnostics and analysis, Thesis (M.Sc.), Faculty of Science and Engineering, Laval University, Quebec, Canada, 2006.
- [59] Фомин А., Цеховая и бесцеховая структуры управления производством. Проблемы внедрения бесцеховой структуры, Эдитус, Москва, 2013.
- [60] Ford H., *Moj život i rad*, S.B. Cvijanović, Beograd, 1924.
- [61] Гавренкова В.И., Козловская А.И., Организация производства на предприятиях отрасли (промышленности), ВГУЭС, 2009.
- [62] Glock C.H., Batch sizing with controllable production rates, *International Journal of Production Research*, vol. 48, no. 20, p5925-5942, 2010.
- [63] Goyal S.K., Note on "manufacturing cycle time determination for a multi-stage economic production quantity model", *Management Science*, vol. 23, no. 3, p332-333, 1976.
- [64] Гудић М., Кларин М., Ђукић Р., и др., Утврђивање расположивих капацитета, степена њиховог коришћења и пројектовање мера и препорука за повећање производње у Р.О. „НП Слобода” - Чачак, Институт за економику индустрије Београд, Београд, 1984.
- [65] Gunasekaran A., Lyu J., Implementation of just-in-time in a small company: A case study, *Production Planning & Control*, vol. 8, no. 4, p406-412, 1997.
- [66] Hadas L., Cyplik P., Fertsch M., Method of buffering critical resources in make-to-order shop floor control in manufacturing complex products, *International Journal of Production Research*, vol. 47, no. 8, p2125-2139, 2009.
- [67] Herrmann J.W., Chincholkar M.M., Design For Production: A Tool For Reducing Manufacturing Cycle Time, *Proceedings of the 2000 ASME Design Engineering Technical Conference*, Baltimore, Maryland, p1-10, 2000.
- [68] Ho W.T., Pan J.C.H., Hsiao Y.C., Optimizing Multi-stage Production for an Assembly-Type Supply Chain with Unequal Sized Batch Shipments, *Journal of Optimization Theory and Applications*, vol. 153, no. 2, p513-531, 2012.
- [69] Holt K., Management and Organization through 100 years, *Technovation*, vol. 19, no. 3, p135-140, 1999.
- [70] Илић Љ., Пројектовање поступка за утврђивање циклуса производње сложеног производа, Магистарски рад, Машински факултет Универзитета у Београду, Београд, 1978.
- [71] Илић Љ., Организација као фактор утицаја на циклус производње сложеног производа, Докторска дисертација, Машински факултет Универзитета у Београду, Београд, 1991.
- [72] Ивковић Д., Живковић С., Анализа коефицијента протока у производњи столица, Гласник Шумарског Факултета, Београд, бр. 92, стр. 43-53, 2005.
- [73] Jacobson L.S., Implications and implementation of manufacturing cycle time reduction, Thesis (M.Sc.), Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, Massachusetts, 1997.
- [74] Jans R., Degraeve Z., Modeling industrial lot sizing problems: a review, *International Journal of Production Research*, vol. 46, no. 6, p1619-1643, 2008.
- [75] Johnson J.D., A framework for reducing manufacturing throughput time,

- Journal of Manufacturing Systems, vol. 22, no. 4, p283–298, 2003.
- [76] Јоксимовић В., Методе одређивања величине серије применом MAPICS/MRP модула у СИМ окружењу, Магистарски рад, Машински факултет Универзитета у Београду, Београд, 1999.
- [77] Јовановић А., Михајловић И., Живковић Ж., Управљање производњом, Технички факултет у Бору, Бор, 2005.
- [78] Јовановић Р.Ј., Дизајнирање структуре сложеног производа у циљу примене MS Project-а, Фестивал квалитета - 37. Национална конференција о квалитету, Крагујевац, 2010.
- [79] Јовановић Р.Ј., Модели структуре сложеног производа, Техника и пракса, бр. 1, стр. 123-131, Висока школа техничких струковних студија Чачак, Чачак, април 2010.
- [80] Јовановић Р.Ј., Пројектни приступ структури сложеног производа, XXXVI Јупитер конференција са међународним учешћем, Машински факултет, Београд, 2010.
- [81] Јовановић Р.Ј., Ђукић Р., Пројектовање производног циклуса сложеног производа коришћењем софтверског алата MS Project, Симпозијум о рачунарским наукама и информационам технологијама - YU INFO 09, Информационо друштво Србије, Копаоник, 2009.
- [82] Јовановић Р.Ј., Ђукић Р., Планирање и праћење производње коришћењем софтвера MS Project, XIII Интернационални симпозијум из пројектног менаџмента, YURMA, Златибор, 2009.
- [83] Јовановић Р.Ј., Ђукић Р., Управљање производним процесима коришћењем апликативног софтвера MS Project, XXXIII Саветовање производног машинства Србије са међународним учешћем (СПМС 2009), Машински факултет Београд, Београд, 2009.
- [84] Јовановић Р.Ј., Ђукић Р., и др., Планирање производње сложеног производа, Техника и пракса, број 5, стр. 119-126, Висока школа техничких струковних студија Чачак, Чачак, 2011.
- [85] Јовановић Р.Ј., Ђукић Р., Јовићевић И., Антонијевић С., Приступ управљању производњом коришћењем алата MS Project, Техника и пракса, бр. 2, стр. 37-44, Висока школа техничких струковних студија Чачак, Чачак, 2010.
- [86] Jovanović R.J., Đukić R., Milanović D.D., Applying Savage criterion to decision making in production management, 7th International Conference - ICQME 2012, University of Montenegro, Faculty of Mechanical Engineering Podgorica, Tivat, 2012.
- [87] Јовановић Р.Ј., Ђукић Р., Милановић Д.Д., Анализа и пројектовање производних циклуса у Компанији „Слобода“ Чачак, Техника и пракса, број 8, стр. 7-14, Висока школа техничких струковних студија Чачак, Чачак, 2012.
- [88] Јовановић Р.Ј., Ђукић Р., Милановић Д.Д., и др., Алат као производ и ресурс производног процеса, Техника и пракса, број 9, стр. 55-66, Висока школа техничких струковних студија Чачак, Чачак, 2013.
- [89] Јовановић Р.Ј., Ђукић Р., Милановић Д.Д., Спасојевић-Бркић В., и др., Мерење степена коришћења машинских капацитета у Компанији „Слобода“ Чачак, Техника и пракса, број 7, стр. 29-36, Висока школа техничких струковних студија Чачак, Чачак, 2012.



- [90] Јовановић Р.Ј., Ђукић Р., Петровић С., и др., Проучавање и мерење рада у Компанији "Слобода" Чачак, Техника и пракса, број 7, стр. 37-42, Висока школа техничких струковних студија Чачак, Чачак, 2012.
- [91] Jovanović R.J., Milanović D.D., Adamović Ž., Đukić R., Models for describing the structure of product and projection of manufacturing cycle, 16th International research/expert Conference, TMT 2012, Dubai, UAE, 2012.
- [92] Јовановић Р.Ј., Милановић Д.Д., Ђукић Р., Примена софтверских алата у циљу оптимизације производње, Конференција о рачунарским наукама и информационим технологијама – YU INFO 2012, Информационо друштво Србије, Копаоник, 2012.
- [93] Jovanović R.J., Milanović D.D., Đukić R., Production cycle design of a complex product and analysis of flow coefficient, *Metalurgia International*, vol. 18, no. 7, p126-132, 2013.
- [94] Jovanović R.J., Milanović D.D., Đukić R., Manufacturing cycle time analysis and scheduling to optimize its duration, *Strojniški vestnik - Journal of Mechanical Engineering*, vol. 60, no. 7-8, p.512-524, 2014.
- [95] Јовановић Р.Ј., Милановић Д.Д., Ђукић Р. и др., Управљање производњом сложених производа специјалне намене, Техника и пракса, број 6, стр. 85-92, Висока школа техничких струковних студија Чачак, Чачак, 2011.
- [96] Јовановић Р.Ј., Милановић Д.Д., Ђукић Р. и др., Управљање процесом израде сложеног алата, Техника и пракса, број 6, стр. 107-112, Висока школа техничких струковних студија Чачак, Чачак, 2011.
- [97] Јовановић Р.Ј., Милановић Д.Д., Ђукић Р., и др., Анализа производног циклуса и динамике ангажовања обртних средстава, Техника и пракса, број 6, стр. 93-100, Висока школа техничких струковних студија Чачак, Чачак, 2011.
- [98] Јовановић Р.Ј., Милановић Д.Д., Ђукић Р., и др., Управљање производним циклусом коришћењем софтвера QSB и MS Project, Техника и пракса, број 6, стр. 101- 106, Висока школа техничких струковних студија Чачак, Чачак, 2011.
- [99] Jovanović R.J., Milanović D.D., Misita M., Đukić R., Investigations of production function in complex business manufacturing systems, 6. International Quality Conference, University in Kragujevac, Faculty of Engineering, Kragujevac, 2012.
- [100] Jovanović R.J., Milanović D.D., Radović M., Đukić R., Investigations of time and economic dimensions of the complex product production cycle, 5th International Symposium on Industrial Engineering - SIE2012, University in Belgrade, Belgrade, 2012.
- [101] Jovanović R.J., Milanović D.D., Radović M., Đukić R., Investigations of time and economic dimensions of the complex product production cycle, *Journal of Applied Engineering Science (Istraživanja i projektovanja za privredu)*, vol. 10, no. 3, p153-160, Institut za istraživanja i projektovanja u privredi, Beograd, 2012.
- [102] Јовановић Р.Ј., Милановић Љ.Д., Покрајац С., Ђукић Р., Глобално сагледавање производних и финансијских ефеката пословно-производних система, 38. Јупитер конференција, Машински факултет, Београд, 2012.
- [103] Јовановић П., Управљање пројектом - Project management, Висока школа

- за пројектни менаџмент, Београд, 2008.
- [104] Јовановић Т., Милановић Д., Спасојевић В., Савремена организација и управљање производњом, Машински факултет Универзитета у Београду, Београд, 1996.
- [105] Калиберда Ю.Т., Основы расчета длительности производственного цикла, Машиностроение, Москва, 1968.
- [106] Камницер С.Е., Организация, планирование и управление деятельностью промышленных предприятий, Высшая школа, Москва, 1976.
- [107] Kashkoush M., ElMaraghy H., Matching Bills of Materials Using Tree Reconciliation, Procedia CIRP, Forty Sixth CIRP Conference on Manufacturing Systems 2013, vol. 7, p169–174, 2013.
- [108] Кефер П., Прилог организацији управљања производњом сложених производа, Магистарски рад, Машински факултет Универзитета у Београду, Београд, 1993.
- [109] Khalil R., Predicting the Effect of Variability on the Efficiency of Flow processing Systems, Thesis (Ph.D.), De MontFort University, England, Leicester, 2005.
- [110] Кларин М., Организација и планирање производних процеса, Машински факултет Универзитета у Београду, Београд, 1996.
- [111] Кларин М., Утврђивање степена коришћења капацитета применом модификоване методе тренутних запажања, Научна књига, Београд, 1984.
- [112] Кларин М., Ђукић Р., и др., Приручник за утврђивање степена коришћења капацитета у металопрерађивачкој индустрији Наменске производње, Институт за економику индустрије Београд, Београд, 1984.
- [113] Klarin M., et al., A method to assess capacity utilization in short cycle functional layouts, Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part E: Journal of Process Mechanical Engineering, vol. 224, no. 1, p49-58, 2010.
- [114] Klarin M., et al., Application domains of a stochastic model for establishing production cycle time, 5th International Symposium on Industrial Engineering - SIE2012, University in Belgrade, Belgrade, p81-84, 2012.
- [115] Klarin M., Misita M., Spasojevic-Brkic V., Design of Multi-Dimensional Model of Production Scheduling and Monitoring in Metal Industry, FME Transactions, vol. 30, no. 1, p29-34, 2002.
- [116] Кларин М., Спасојевић-Бркић В., Мисита М., Прецизност и тачност у одређивању степена коришћења капацитета у металопрерађивачкој индустрији, Техничка дијагностика, вол. 2, бр. 2, стр. 18-25, 2003.
- [117] Klarin M.M., Cvijanovic J.M., Spasojevic-Brkic V., The shift level of the utilization of capacity as the stochastic variable in work sampling, International Journal of Production Research, vol. 38, no. 12, p2643-2651, 2000.
- [118] Кларин М.М., и др., Истраживање расположивости производних капацитета у металопреради, Индустрија, вол. 31, бр. 3-4, стр. 1-6, 2003.
- [119] Klein R., Project scheduling with time-varying resource constraints, International Journal of Production Research, vol. 38, no. 16, p3937–3952, 2000.
- [120] Ko S.S., Serfozo R.F., Sivakumar A.I., Reducing Cycle Times in Manufacturing and Supply Chains by Input and Service Rate Smoothing, ИЕ

- Transactions, vol. 36, no. 2, p145-153, 2004.
- [121] Kochran D., Lean Production System Design, Cambridge MA, 2000.
- [122] Кондратьева М.Н., Баландина Е.В., Экономика и организация производства, УлГТУ, Ульяновск, 2013.
- [123] Конструктивно-технолошка и производно-планска документација, Слобода, Чачак
- [124] Копривица Б., Прилог истраживању производних циклуса у условима малосеријске производње, Магистарски рад, Машински факултет Универзитета у Београду, Београд, 1979.
- [125] Копривица Б., Истраживање производног циклуса израде сложеног производа, Техника, бр. 3, стр. 479-484, СИТЈ, Београд, 1980.
- [126] Копривица Б., Утицај међуоперацијских застоја на дужину стварног циклуса производње у условима малосеријске производње, Техника, бр. 5, стр. 815-819, СИТЈ, Београд, 1980.
- [127] Kosiol L., Темелји и методе истраживања организације, Информатор, Загреб, 1972.
- [128] Кралев Т., Прилог проучавању временске димензије тока материјала у производним организацијама, Докторска дисертација, Машински факултет Универзитета у Београду, Београд, 1981.
- [129] Кралев Т., Трошкови производње и обртна средства у незавршеној производњи у функцији времена тока материјала (ВТМ) – I део, Техника, бр. 2, стр. 259-263, СИТЈ, Београд, 1986.
- [130] Кралев Т., Трошкови производње и обртна средства у незавршеној производњи у функцији времена тока материјала (ВТМ) – II део, Техника, бр. 3, стр. 400-405, СИТЈ, Београд, 1986.
- [131] Кралев Т., Истраживања зависности коефицијента протока од технолошког времена и од величине серије, Техника, бр. 11-12, стр. 821-824, СИТЈ, Београд, 1991.
- [132] Кралев Т., Застоји у структури времена тока материјала (ВТМ), Техника, бр. 1-2, стр. 129-136, СИТЈ, Београд, 1992.
- [133] Крайкова Т.Г., Длительность производственного цикла, Машиностроение, Москва, 1969.
- [134] Краюхин Г.А., Евдокимова Е.Н., Развитие промышленности России в исторически изменяющихся условиях, РГРТУ, Рязань, 2009.
- [135] Kren L., Tyson T., Using cycle time to measure performance and control costs in focused factories, Journal of cost management, vol. 16, no. 6, p18-23, 2002.
- [136] Lati N., Gilad I., Minimising idle times in cluster tools in the semiconductor industry, International Journal of Production Research, vol. 48, no. 21, p6443-6459, 2010.
- [137] Li L., et al., Real time production improvement through bottleneck control, International Journal of Production Research, vol. 47, no. 21, p6145-6158, 2009.
- [138] Либерман Г.Е., Организация и планирование производства в машиностроительных предприятия, Машиностроение, Москва, 1967.
- [139] Липовац Д., Радојичић М., Летић Д., Модели оптимизације, ИЦИМ, Крушевац, 2000.
- [140] Liu O., Prediction of job completion times and optimal overtime allocation for satisfying production due dates, Thesis (M.Sc.), Kate Gleason College Of

- Engineering, Rochester Institute Of Technology, Rochester, New York, 2006.
- [141] Mackelprang A.W., Nair A., Relationship between just-in-time manufacturing practices and performance: A meta-analytic investigation, *Journal of Operations Management*, vol. 28, p283–302, 2010.
- [142] Маринковић Б., Производне технологије, Виша техничка школа Чачак, Чачак, 2006.
- [143] Markić L., Mandušić D., Grbavac V., *Microsoft Project*, Sjemenarstvo, vol. 22, br. 3-4, str. 177-186, 2005.
- [144] Markus A., et al., Project scheduling approach for production planning, *Annals of the CIRP*, vol. 52, no. 1, p359–362, 2003.
- [145] Marmel E., *Microsoft Project 2007 Bible*, Wiley Publishing, Inc., Indianapolis, Indiana, 2007.
- [146] Маунард Н., Савремена организација производње, РО Културни центар Горњи Милановац, Горњи Милановац, 1979.
- [147] Медведева С.А., Основы технической подготовки производства, СПбГУ ИТМО, Санкт-Петербург, 2010.
- [148] Мешкова Л.Л., Белоус И.И., Фролов Н.М., Организация и технология отрасли, ТГТУ, Тамбов, 2002.
- [149] Михаиловић И., и др., ЈТ у набавци и оптимална величина производне серије, *Техника*, бр. 2, стр. 15-19, СИТС, Београд, 2007.
- [150] Mikati N., Dependence of lead time on batch size studied by a system dynamics model, *International Journal of Production Research*, vol. 48, no. 18, p5523–5532, 2010.
- [151] Милачић В., Менаџмент - Технологија - Маркетинг доктрине - Људи, 29. Саветовање производног машинства Југославије, Београд, 2002.
- [152] Милачић В., Милачић М., Методологија пројектовања технолошких платформи, ЈУПИТЕР Асоцијација, Београд, 2008.
- [153] Милановић Д.Д., Мисита М., Информациони системи подршке управљању и одлучивању, Машински факултет Универзитета у Београду, Београд, 2008.
- [154] Милановић Д.Д., Несторов А., Управљање производњом помоћу наруџбина, 36. Јупитер конференција, стр. 4.7-4.12, Машински факултет, Београд, 2010.
- [155] Moustakis V., *Materials Requirements Planning-Manufacturing Resource Planning*, EC Project, Technical University of Crete, 2000.
- [156] Mula J., et al., Models for production planning under uncertainty: A review, *International Journal of Production Economics*, vol. 103, no. 1, p271-285, 2006.
- [157] Непомнящий Е.Г., Экономика и управление предприятием, ТРТУ, Таганрог, 1997.
- [158] Neumann K., Schwindt C., A capacitated hierarchical approach to make-to-order production, *European Journal of Automation*, vol. 32, p397–413, 1998.
- [159] Neumann K., Schwindt C., Zimmermann J., *Project scheduling with time windows and scarce resources – temporal resource-constrained project scheduling with regular and nonregular objective functions*, 2nd ed, Springer, Berlin, 2003.
- [160] Обрадовић Ј., Пројектовање и планирање за just-in-time производњу, IPRM – I саветовање, Факултет организационих наука, Београд, 2003.

- [161] Pahl J., Voß S., Woodruff D.L., Production planning with load dependent lead times: an update of research, *Annals of Operations Research*, vol. 153, no. 1, p297-345, 2007.
- [162] Paneru N., Implementation of Lean Manufacturing Tools in Garment Manufacturing Process Focusing Sewing Section of Men's Shirt, Thesis (M.Sc.), Oulu University of Applied Sciences, 2011.
- [163] Пантелић Т., Оптимални распоред послова при серијској производњи, *Техника*, бр. 11, стр. 1693-1700, СИТЈ, Београд, 1980.
- [164] Пантелић Т., Индустриска логистика, ИЦИМ, Крушевац, 1999.
- [165] Patti A.L., Watson K.J., Downtime variability: the impact of duration-frequency on the performance of serial production systems, *International Journal of Production Research*, vol. 48, no. 19, p5831-5841, 2010.
- [166] Павличић М., Економика предузећа – Елементи теорије микроекономије, ИЦИМ, Крушевац, 2004.
- [167] Пенезић Н., Економика предузећа са основама микроекономске анализе, Факултет пословне економије Универзитета Educons, Нови Сад, 2009.
- [168] Перовић М., Арсовски С., Арсовски З., Производни системи, ЦИМ центар, Машински Факултет у Крагујевцу, Крагујевац, 1996.
- [169] Петрић Ј., Мрежно планирање и управљање, Информатор, Загреб, 1983.
- [170] Петровић З., Вићентијевић К., Приручник за примену контног оквира за привредна друштва, задруге, друга правна лица и предузетнике, ИПЦ д.о.о. Београд, Београд, 2007.
- [171] Phan C.A., Matsui Y., Comparative study on the relationship between just-in-time production practices and operational performance in manufacturing plants, *Operations Management Research*, vol. 3, no. 3-4, p184-198, 2010.
- [172] Пилиповић М., Информациони системи за управљање производњом у индустрији прераде метала, 26. Јупитер конференција, Машински факултет, Београд, 2000.
- [173] Plossl G.W., Throughput time control, *International Journal of Production Research*, vol. 26, no. 3, p493-498, 1988.
- [174] Пржуљ Ж., Менаџмент људских ресурса, Факултет за трговину и банкарство „Јанићије и Даница Карић“ Београд, Београд, 2007.
- [175] Puich M., Are you up to the Cycle-Time Challenge? (cover story), *IE Solutions*, vol. 33, no. 4, p24-28, 2001.
- [176] Ругон Т., Project 2002, Компјутер библиотека, Чачак, 2003.
- [177] Радојевић З., Радојевић М., Управљање производњом сложеног производа, YUPMA, стр. 145-149, Факултет организационих наука, Београд, 2005.
- [178] Радојковић Д., Скраћење производних циклуса применом модификоване методе тренутних запажања, Докторска дисертација, Универзитет у Новом Саду, Технички факултет „Михајло Пупин“, Зрењанин, 2011.
- [179] Радовић М., Илић О., Производне серије за неколико делова или производа, *Техника*, бр. 3, стр. 406-413, СИТЈ, Београд, 1986.
- [180] Рајковић З., Интеракција производног циклуса у условима производње више производа, Магистарски рад, Машински факултет Универзитета у Београду, Београд, 1974.
- [181] Ram B., et al., Material requirements planning with flexible bills-of-material, *International Journal of Production Research*, vol. 44, no. 2, p399-415, 2006.

- [182] Ранчић М., Технолошки процеси, ИЦИМ, Крушевац, 2001.
- [183] Ранчић М., Технолошке машине и уређаји, ИЦИМ, Крушевац, 2001.
- [184] Ристић Д., Организација производно пословних система, Технички факултет "Михајло Пупин" Зрењанин и Stylos, Нови Сад, 1996.
- [185] Romanowski C.J., Nagi R., On Comparing Bills of Materials: A Similarity/Distance Measure for Unordered Trees, IEEE Transactions on Systems, Man & Cybernetics, Part A (Systems & Humans), vol. 35, no. 2, p249-260, 2005.
- [186] Розенберг И.А., Анализ резервов сокращения длительности производственного цикла, Машиностроение, Москва, 1976.
- [187] Розенберг И.А., Сокращения длительности производственного цикла в машиностроении, Машгиз, Москва (Свердловск), 1956.
- [188] Сачко С.Н., Организация и оперативное планирование машиностроительного производства, Высшэйшая школа, Минск, 1977.
- [189] Schultz C.R., Spare parts inventory and cycle time reduction, International Journal of Production Research, vol. 42, no. 4, p759-776, 2004.
- [190] Серебренников Г.Г., Организация производства, ТГТУ, Тамбов, 2004.
- [191] Серебренников Г.Г., Экономические аспекты организации производства, ТГТУ, Тамбов, 2002.
- [192] Shah R., Ward P.T., Lean manufacturing: context, practice bundles, and performance, Journal of Operations Management, vol. 21, p129–149, 2003.
- [193] Shikalgar T.S., Reduction of Average Cycle Time at a Wafer Fabrication Facility, Thesis (M.Sc.), Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg, Virginia, 2000.
- [194] Shingo S., Nova japanska proizvodna filozofija, JZP, Beograd, 1986.
- [195] Симоновић В., Тадић Д., Милановић Д., Квантитативне методе, ИЦИМ, Крушевац, 2005.
- [196] Siti N.I., Rohaizan R., Lee Y.H., Implementation of MRP system in Manufacturing Company: A conceptual framework, Proceedings The 2nd International Conference On Global Optimization and Its Applications (ICoGOIA2013), Malaysia, 2013.
- [197] Sivakumar A.I., Chong C.S., Simulation-based analysis of cycle time distribution, and throughput in semiconductor backend manufacturing, Journal of Computers in Industry, vol. 45, p59–78, 2001.
- [198] Sloan A.W., A study on the effect of protective capacity on cycle time in serial production lines, Thesis (M.Sc.), Faculty of Mississippi State University, 2001.
- [199] Спасојевић Бркић В., Контигентна теорија и менаџмент квалитетом, Машински факултет Универзитета у Београду, Београд, 2009.
- [200] Станимировић П., Јовановић И., Мрежно планирање и MS Project, Природно-Математички факултет Универзитета у Нишу, Ниш, 2008.
- [201] Станимировић П., Миловановић Г., Програмски пакет Mathematica и примене, Електронски факултет у Нишу, Ниш, 2002.
- [202] Станивуковић Д., Царић Н., Марић Б., Организација предузећа и менаџмент, ФТН - Институт за индустријске системе у Новом Саду, Нови Сад, 1991.
- [203] Ставрић Б., Кокеза Г., Управљање пословним системом - Економика предузећа и менаџмент, Технолошко-металуршки факултет Универзитета

- у Београду, Београд, 2002.
- [204] Стевановић Д., и др., Дискретна математика - Основе комбинаторике и теорије графова, Друштво математичара Србије, Београд, 2008.
- [205] Стојковић М., Статистика, Економски факултет Суботица, Суботица, 2001.
- [206] Szendrovits A.Z., Manufacturing cycle time determination for a multi-stage economic production quantity model, Management Science, vol. 22, no. 3, p298-308, 1975.
- [207] Таборшак Д., Студиј рада, Техничка књига Загреб, Загреб, 1970.
- [208] Татевосов К.Г., Нормативные расчеты равномерного производства в серийном машиностроении, Машгиз, Ленинград, 1961.
- [209] Тодоровић Ј., Јапански менаџмент - Тајне успеха јапанске производње, Мрљеш, Београд, 2000.
- [210] Тодоровић Ј., Менаџмент производње - управљање и just-in-time, Мрљеш, Београд, 1999.
- [211] Тодоровић Ј., Управљање производњом, Мрљеш Београд, Београд, 1999.
- [212] Толстых А.С., Как сократить производственный цикл, Экономиздат, Москва, 1962.
- [213] Truscott W.G., Scheduling production activities in multi-stage batch manufacturing systems, International Journal of Production Research, vol. 23, no. 2, p315-328, 1985.
- [214] Трусова Л.И., Богданов В.В., Щепочкин В.А., Организация производства и менеджмент в машиностроении, УЛГТУ, Ульяновск, 2009.
- [215] Venter J.P., Developing a procedure to optimise cycle time in a manufacturing plant, Thesis (M.Sc.), Potchefstroom campus of the North-West University, 2011.
- [216] Вила А., и др., Модели планирања производње у индустрији, Информатор, Загреб, 1982.
- [217] Vila A., Leicher Z., Planiranje proizvodnje i kontrola rokova, Informator, Zagreb, 1983.
- [218] Врцел Ђ., Божовић Б., Огорелец И., Методи мерења искоришћења производних капацитета у индустрији, Привредни преглед, Београд, 1981.
- [219] Вујић Д., Менаџмент људских ресурса и квалитет, ЦПП, Београд, 2000.
- [220] Вујић Д., Управљање људским ресурсима - Извор пословне успешности, Факултет за правне и пословне студије Нови Сад, Нови Сад, 2009.
- [221] Вукадиновић С., Елементи теорије вероватноће и математичке статистике, Привредни преглед Београд, Београд, 1978.
- [222] Вулета Ј., Методе екстремизације на графовима, Научна књига, Београд, 1985.

**ПРИЛОЗИ**

- [Прилог 01:](#) Приказ важнијих научних и стручних радова заснованих на анализи и истраживању  $PC$ -а и тока материјала, табела 2
- [Прилог 02:](#) Програм ( $PPTCOPF3$ ) за прорачун технолошких циклуса операција и производних фаза, релације (124) – (127), (129), (132) и (140)
- [Прилог 03:](#) Програм ( $PPTCOPF2$ ) за прорачун технолошких циклуса операција и производних фаза, релације (124) – (127), (129), (132) и (147)
- [Прилог 04:](#) Програм ( $PPTCSPKP$ ) за прорачун технолошких циклуса сложеног производа на карактеристичном путу  $P_k = P_{v,1} \mid v \in V^{(P)}$  графа
- [Прилог 05:](#) Програм ( $PPTCSP$ ) за прорачун технолошких циклуса сложеног производа
- [Прилог 06:](#) Програм за дизајнирање структуре  $SP$ -а
- [Прилог 07:](#) Расходи Компаније "Слобода" ад Чачак
- [Прилог 08:](#) Преглед бруто зарада по радним јединицама
- [Прилог 09:](#) Програм за прорачун оптималне серије
- [Прилог 10:](#) Програм за пројектовање  $PC$ -а, фино терминирање производње и израчунавање коефицијента протока



Прилог 1: Табела 2: Приказ важнијих научних и стручних радова заснованих на анализи и истраживању *PC*-а и тока материјала

Р. б.	Аутор	Год.	Карактеристике производње - претпоставке	Предмет истраживања	Резултати - Закључци
1	2	3	4	5	6
1	Рајковић З. [180]	1974.	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ производња пољопривредних машина</li> <li>✓ сложен производ</li> <li>✓ разноврсне технологије</li> <li>✓ малосеријска производња комбајна (300 ком)</li> <li>✓ комбиновани начин кретања предмета рада</li> <li>✓ анализиран репрезентативни узорак делова који се састоји од 153 позиције које се уграђују у комбајн</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ технолошки циклус по узастопном начину кретања предмета рада</li> <li>✓ коефицијент протока делова (обрада резањем)</li> <li>✓ унутароперацијски и међуоперацијски губици у циклусу</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ регресионом и корелационом анализом утврђена је зависност коефицијента протока од технолошког циклуса</li> <li>✓ регресионом и корелационом анализом дефинисан је удео међуоперацијских и унутароперацијских губитака у циклусу у функцији од технолошког циклуса</li> <li>✓ пројектована су два поступка за изналажење стварног циклуса</li> </ul>
2	Бојанић П. [9] Пилиповић М. [172]	1974. 2000.	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ сви типови производње где се подаци о производним токовима прате помоћу докумената који чине пакет радног налога</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ пројектовање <i>IS</i>-а за управљање производњом преко радних налога – <i>UPRN (TOPIS)</i></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ модуларни приступ пројектовања <i>IS</i>-а који се састоји из четири модула: <ul style="list-style-type: none"> <li>- праћење општих токова производње</li> <li>- праћење радних налога</li> <li>- планске цене производа</li> <li>- искоришћење капацитета са одговарајућим извештајима о стању радних налога, искоришћењу капацитета итд.</li> </ul> </li> </ul>
3	Szendrovits A.Z. [206]	1975.	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ серијска производња</li> <li>✓ узастопни и комбиновани начин кретања предмета рада</li> <li>✓ претпоставке у моделу: величина серије константна; у технолошке операције се не убрајају транспорт и контрола; стална потражња за готовим производима; величине подсерија исте</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ технолошки циклус по узастопном и комбинованом начину кретања предмета рада</li> <li>✓ истраживање третира производни циклус у функцији од величине серије у вишефазном производном окружењу</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ теоријска истраживања</li> <li>✓ развијен је модел за одређивање технолошке дужине производног циклуса у зависности од узастопног и комбинованог начина кретања предмета рада</li> <li>✓ развијене су формуле за комбиновани начин кретања предмета у случају када се серија производа дели на подсерије (због економичног транспорта између операција)</li> <li>✓ развијен је модел за утврђивање економичне производне серије који у односу на дотадашње моделе узима у обзир и трошкове складиштења залиха у недовршеној производњи</li> </ul>
4	Goyal S.K. [63]	1976.	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ серијска производња</li> <li>✓ комбиновани начин кретања предмета рада</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ истраживање економичне величине серије</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ настављена претходна теоријска истраживања од стране аутора Szendrovits [206] при чему је предложен истраживачки приступ, процедуре и формуле за одређивање економичне величине серије и оптималног броја подсерија по комбинованом начину кретања предмета рада</li> </ul>

1	2	3	4	5	6
5	Илић Љ. [70]	1978.	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ производња мотора за пољопривредне машине</li> <li>✓ сложен производ</li> <li>✓ разноврсне технологије</li> <li>✓ серијски тип производње (300 – 2000 ком)</li> <li>✓ узастопни, комбиновани и паралелни начин кретања предмета рада</li> <li>✓ анализиран је процес финалне монтаже, процес производње главних делова (блок, глава, брегаста осовина) на две технолошке линије и процес производње осталих делова који су груписани у осам група у зависности од заступљених технолошких подручја рада</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ технолошки циклус по узастопном, комбинованом и паралелном начину кретања предмета рада</li> <li>✓ коефицијент протока на линијама монтаже и линијама за производњу главних делова где су заступљени паралелни начини кретања предмета рада</li> <li>✓ коефицијент протока осталих делова по групама где су заступљена сва три начина кретања предмета рада</li> <li>✓ анализа застоја на производним линијама</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ регресионом и корелационом анализом утврђене су зависности коефицијената протока у функцији од технолошког циклуса по производним линијама</li> <li>✓ утврђени су узрочници застоја и структура губитака у производном циклусу</li> <li>✓ модификован граф и коефицијент протока коришћени су као основа за терминирање производње делова, монтажу и завршна испитивања финалног производа</li> </ul>
6	Копривица Б. [124] [125], [126]	1979. 1980.	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ производња алатних машина</li> <li>✓ сложен производ</li> <li>✓ разноврсне технологије</li> <li>✓ појединачна и малосеријска производња (1 – 10 ком)</li> <li>✓ анализирана је трогодишња производња специјалних машина, хоризонталних стандардних бушилица и глодалица, и преса за обраду деформацијом у ИЈР Железник, Београд</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ технолошки циклус по узастопном начину кретања предмета рада</li> <li>✓ коефицијент протока по групама производа (специјалне алатне машине, хоризонталне бушилице – глодалице, пресе)</li> <li>✓ узрочници међуоперацијских застоја</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ функционална зависност коефицијента протока од технолошког циклуса по групама производа</li> <li>✓ аритметичка средина, стандардно одступање и хистограм фреквенција коефицијента протока</li> <li>✓ истражени су главни узрочници међуоперацијских застоја: чекање на контролу и контрола квалитета, чекање на извођење операције због уских грла у производњи и унутрашњи транспорт</li> </ul>
7	Пантелић Т. [163]	1980.	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ серијска производња</li> <li>✓ узастопни начин кретања предмета рада</li> <li>✓ једна технолошка операција изводи се на једној машини</li> <li>✓ мали број делова (до 3) а неограничен број технолошких операција</li> <li>✓ неограничен број делова а мали број (до 3) технолошких операција</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ распоред послова у производном процесу у циљу оптимизације производног циклуса са аспекта минимизације укупних застоја у раду машина</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ оптимални распоред послова у процесу производње дефинисан је помоћу графичке (гантови дијаграми, координатни систем) и аритметичке методе (математички модели)</li> <li>✓ решавањем одговарајућих модела могуће је утврдити континуитет и дисконтинуитет у процесу производње по одговарајућим радним местима и терминима</li> </ul>

1	2	3	4	5	6
8	Кралев Т. [128] [129], [130] [131] [132]	1981. 1986. 1991. 1992.	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ сложен производ</li> <li>✓ разноврсне технологије</li> <li>✓ анализирана је производња делова и монтажа у више фабрика у Р. Македонији</li> <li>✓ појединачна и серијска производња (1 – 200.000 ком/сер)</li> <li>✓ у застојни и комбиновани начин кретања предмета рада</li> <li>✓ врсте производа: апарати, посуђе, пумпе, зупчаници, приколице, дизалице, фрижидери, аутобуси, челичне конструкције</li> <li>✓ анализиран процес израде делова који су груписани у репрезент. узорке као и процес монтаже склопова и финалних производа</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ технолошко време тока материјала у производњи по у застојном начину кретања предмета рада (укључена само производна времена, укључена производна и непроизводна времена)</li> <li>✓ укупно време тока материјала</li> <li>✓ коефицијент проточности материјала</li> <li>✓ структура временске димензије тока материјала</li> <li>✓ финансијска димензија тока материјала</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ укупно време тока материјала и структура застојних времена која се односе на производне операције, операције транспорта и контроле, и застоје</li> <li>✓ регресионом анализом утврђена је зависност укупних застоја у функцији од коефицијента протока</li> <li>✓ регресионом и корелационом анализом утврђене су зависности коефицијента протока у функцији од технолошког времена и броја делова у серији</li> <li>✓ узрочници и структура застоја у укупном времену тока материјала у производњи</li> <li>✓ предлог мера за скраћење производног циклуса</li> <li>✓ парцијална и кумулативна зависност трошкова производње у функцији од времена и начина везивања обртних средстава</li> </ul>
9	Truscott W.G. [213]	1985.	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ полазна тачка је развијен модел од стране <i>Szendrovits</i> [206]</li> <li>✓ активности у производном процесу груписане су у две групе. Прву групу чине технолошке операције и контрола које су у директној пропорцији са величином серије а другу групу припремно-завршна времена и транспорт.</li> <li>✓ операције се извршавају у континуитету (операције имају посебна радна места) и једнаке величине подсерија се транспортују између операција</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ распоред припремно-завршних времена, технолошких операција, контроле и унутрашњег транспорта у вишефазном производном систему у циљу минимизације укупног времена трајања производног циклуса и броја подсерија које се транспортују</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ теоријска истраживања са илустративним примером</li> <li>✓ развијен је модел за оптимални распоред производних и непроизводних операција у вишефазном производном систему</li> <li>✓ модел олакшава ефикасно коришћење ресурса и временску доступност производа</li> <li>✓ развијен је алгоритам за детаљно генерисање производног распореда (Гантов дијаграм)</li> <li>✓ алгоритам, кодиран на <i>IBM Personal Computer</i> (персоналном рачунару), коришћен је за приказ једноставног распореда производних активности који демонстрира потенцијалну примену овог истраживања за планирање и контролу</li> </ul>
10	Радовић М., Илић О. [179]	1986.	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ серијска производња, више делова</li> <li>✓ дефинисан је општи редослед производње свих делова који чине производни програм фабрике</li> <li>✓ познати су ук. трошкови припреме производње и укупни трошкови складиштења свих врста производа</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ најекономичнији (оптимални) збирни циклус производње свих делова и број сложених циклуса у години са аспекта минимизације укупних трошкова</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ теоријска истраживања са илустративним примером</li> <li>✓ дефинисана су четири математичка модела за оптимизацију залиха у зависности од динамике дневне производње за складиште и (или) за продају (даљу производњу) без обзира да ли се ради о полупроизводима или о финалним производима</li> </ul>

1	2	3	4	5	6
10	(наставак)		<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ дефинисан је оптимални производни програм на нивоу године</li> <li>✓ позната је дневна производња сваког производа</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ оптималне величине серија сваког производа и време потребно за производњу једне серије</li> </ul>	
11	Plossl G.W. [173]	1988.	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ ток материјала обухвата временски период пре, у току и након производње</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ истраживање и дефинисање појмова који се односе на проточност материјала</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ теоријска разматрања</li> <li>✓ рад указује на лоше управљање производним временом у свим његовим фазама (планирање, извршење и контрола производње) као и на примере из "добре" праксе који настоје да време тока материјала буде што краће</li> </ul>
12	Илић Љ. [71]	1991.	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ једноделни и сложени производи</li> <li>✓ серијска производња</li> <li>✓ узастопни, комбиновани и паралелни начин кретања предмета рада</li> <li>✓ груписање делова по производним погонима и класама у циљу формирања репрезентативних узорака</li> <li>✓ алтернативна употреба елемената у градњи склопова</li> <li>✓ алтернативни технолошки поступци</li> <li>✓ алтернативна употреба машина и алата за извођење појединих операција</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ технолошки циклус у зависности од начина кретања предмета рада у процесу производње</li> <li>✓ трајање циклуса и утврђивање коефицијента протока једноделних и сложених производа</li> <li>✓ утицај међуоперацијских и унутароперацијских застоја на трајање произв. циклуса у зависности од начина кретања предмета рада</li> <li>✓ терминирање производње уз примену коефицијента протока и методе симулације</li> <li>✓ скраћење произв. циклуса сложеног производа преклапањем производних активности у оквиру суседних нивоа уградње</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ дефинисана структура производног циклуса</li> <li>✓ приказане формуле за израчунавање циклуса производње у зависности од начина кретања предмета рада</li> <li>✓ приказан граф структуре сложеног производа као полазиште за утврђивање циклуса производње сложеног производа</li> <li>✓ анализа криве протока и њена примена при терминирању на нивоу технолошких операција и делова сложеног производа</li> <li>✓ теоријско разматрање утицаја застоја, шкарта, распореда машина, транспорта између операција и флексибилности производне опреме на коефицијент протока</li> </ul>
13	Кефер П. [108]	1993.	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ широк производни програм</li> <li>✓ малосеријска производња сезонског карактера</li> <li>✓ сложен производ</li> <li>✓ циклус производње од 2-6 месеци</li> <li>✓ узастопни начин кретања предмета рада</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ дефинисање и анализа организационе структуре PS-а са посебним освртом на оперативну припрему производње, као носиоца управљања производњом</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ проблем управљања производним системима превазилази методе и технике организовања, планирања и одлучивања које су засноване на емпирији и интуицији</li> </ul>

1	2	3	4	5	6
14	Gunasekaran A., Lyu J. [65]	1997.	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ производња сијалица за потребе аутомобилске индустрије</li> <li>✓ мало предузеће на Тајвану</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ имплементација и утицај <i>JIT</i> на перформансе малих и средњих предузећа</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ дефинисан је процес имплементације <i>JIT</i> почев од обуке запослених, примене стандарда у области квалитета, примена концепта <i>5S</i>, сагледавања потреба за производима као и потребних инпута итд.</li> <li>✓ ефекти примене <i>JIT</i> огледају се кроз смањење: залиха у недовршеној производњи (око 80%), залиха готових производа (око 55%), радника (око 10%) итд.</li> </ul>
15	Jacobson L.S. [73]	1997.	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ монтажа електричних кола за дигиталне камере, ласерске штампаче, скенере и сл. у фабрици Eastman Kodak</li> <li>✓ широк производни програм (преко 250 производа)</li> <li>✓ серијска производња (у количинама од 10 до 10.000 комада)</li> <li>✓ три производне линије и шест различитих производних процеса</li> <li>✓ опрема у фабрици је претежно аутоматизована</li> <li>✓ паралелни и узастопни начин кретања предмета рада</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ анализа и оптимизација производног циклуса почев од прве технолошке операције па до испоруке купцу или смештању у магацин готових делова</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ оптимални распоред радних места уз примену <i>JIT</i>, <i>TQM</i>, <i>TPM</i>...</li> <li>✓ редизајн фабрике (површина фабрике смањена је са 20.000 m<sup>2</sup> на 12.000 m<sup>2</sup>)</li> <li>✓ ефекти се огледају у скраћењу производног циклуса за око 44%, смањењу залиха у недовршеној производњи и скраћењу времена чекања између радних центара</li> </ul>
16	Neumann K. и др. [158] Klein R. [119] Markus A. и др. [144] Neumann K. и др. [159]	1998. 2000. 2003. 2003.	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ производња по наруџбини</li> <li>✓ производња сложених и високо стандардизованих производа</li> <li>✓ сваки производ има своје карактеристике које се често прилагођавају купцу</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ пројектни приступ планирања производње</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ развијени модели за пројектно планирање и управљање производњом</li> </ul>
17	Јоксимовић В. [76]	1999.	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ експеримент је реализован у Лола Корпорацији – фабрика Лола Флуидоматик</li> <li>✓ малосеријска и серијска производња хидрауличних и пнеуматских компоненти и система</li> <li>✓ годишњи план се дефинише на основу предвиђања будућих захтева купаца</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ управљање залихама и приказ метода за одређивање величине серије по налозима за производњу и набавку</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ у раду је објашњена разлика између конвенционалних метода управљања залихама и концепта <i>MRP</i></li> <li>✓ коришћењем неодговарајуће методе за одређивање величине серије повећавају се укупни трошкови пословања</li> <li>✓ експеримент је показао да се у фабрици Лола Флуидоматик не користе одговарајуће методе за одређивање величине серије</li> </ul>

1	2	3	4	5	6
18	Shikalgar T.S. [193]	2000.	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ индустрија полупроводника, M/A-COM Inc, Roanoke (САД)</li> <li>✓ разноврсна опрема, технолошки веома сложена</li> <li>✓ сложен производни ток (више производа користи исту опрему)</li> <li>✓ заступљено пет различитих производних процеса</li> <li>✓ велики број технолошких операција по серији (200-300)</li> <li>✓ серија садржи 8 проводних плочица; лансира се 175 серија/седмично тј. око 56.000 плочица/год</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ оптимизација производног циклуса GaAs (галијум арсенид) проводне плоче пречника 200 mm</li> <li>✓ производни циклус обухвата временски циклус од отварања радног налога до завршетка последње технолошке операције</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ развијена су три модела</li> <li>✓ први модел је хеуристичка процедура заснована на идеји оптималног коришћења машина које представљају уско грло. Симулација је урађена помоћу софтверског пакета <i>AutoSchad AP</i></li> <li>✓ други модел базира се на математичком целобројном програмирању помоћу софтвера <i>CPLEX</i></li> <li>✓ трећи модел је теоријски, базиран на примени теорије графова</li> <li>✓ смањен временски циклус за око 11% и број комада у процесу производње за 20%</li> </ul>
19	Agrawal A., Minis I., Nagi R. [1]	2000.	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ малосеријска производња (серије од 1 до 15 комада)</li> <li>✓ узас. начин кретања предмета рада</li> <li>✓ сложени производи (у просеку пет нивоа, око 130 делова и до 300 тех. операција)</li> <li>✓ дуг произв. циклус од 2-18 месеци</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ истраживање производног циклуса сложеног производа почев од поруџбине па до испоруке</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ планирање потребних материјала (<i>MRP: Materials Requirements Planning</i>)</li> <li>✓ планирање производних ресурса (<i>MRP II</i>)</li> <li>✓ <i>LETSA</i> алгоритам за израчунавање оптималне производне серија са аспекта минимизације трошкова незавршене производње уз коришћење софтвера <i>SIMFACTORY</i></li> </ul>
20	Moustakis V. [155]	2000.	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ производња електричних бројила</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ одлучивање о количини производа и времену тока материјала у зависности од услова тражње</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ теоријска разматрања</li> <li>✓ алгоритам за имплементацију <i>MRP</i> и <i>MRP II</i> почев од наруџбеница купаца и предвиђања тражње па закључно са планирањем потреба за материјалима, људским ресурсима, производне опреме и трајања циклуса производње коришћењем јединствене базе података</li> </ul>
21	Herrmann J.W., Chincholkar M.M. [67]	2000.	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ серијска производња</li> <li>✓ нов производ (пројектовање производа и технологија)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ коришћење алата за планирање и управљање производњом као подршка одлучивању у фази развоја производа и технологија</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ теоријска разматрања са илустративним примером</li> <li>✓ описује се алат за подршку одлучивању, тиму који развија производ, водећи рачуна о трајању производног циклуса</li> </ul>
22	Dossenbach T. [32]	2000.	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ дрвна индустрија</li> <li>✓ канцеларијска врата</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ производни циклус и његова структура почев од тренутка узимања материјала из магацина закључно са складиштењем готових производа</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ теоријска разматрања на који начин се може скратити производни циклус</li> <li>✓ укупно трајање производног циклуса разматраног производа износи 6 дана (158,25 ч)</li> <li>✓ структура циклуса: тех. операције које дају вредност производу-4,5ч; тех. операц. које не дају вредност производу али су неопходне-1ч; застоји, губици и чекања-152,75ч</li> </ul>

1	2	3	4	5	6
23	Кларин М. и др. [117]  [116]  [113]	2000.  2003.  2010.	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ металоперађивачка индустрија у Југославији (74 фабрике, период истраживања 1992-1997.)</li> <li>✓ анализиран производни циклус производа репрезентаната</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ прецизност и тачност степена коришћења капацитета помоћу модификоване методе тренутних запажања</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ степен коришћења капацитета и/или застоја по данима је статистичка променљива и креће се по нормалном закону расподеле док се овладаност утврђује праћењем контролних граница</li> <li>✓ стратификација узорака и корелациона анализа омогућује добијање просечног степена коришћења капацитета за групу машина, линија, фабрику или целу металопер. индустрију</li> </ul>
24	Sloan A.W. [198]	2001.	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ производна линија</li> <li>✓ серијска производња (од 2 до 10 комада предмета рада по радној станици)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ пројектовање циклуса производне линије у функцији од задатих ограничења</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ теоријска истраживања</li> <li>✓ спроведена компјутерска симулација (<i>ANOVA</i>) са различитим ограничењима производне линије (број и локација радних места, дужина између радних места, број комада у процесу производње, варијабилност производне линије, заштитни капацитет и ниво застоја машина)</li> <li>✓ вишеструка степенаста линеарна регресија за предвиђање производног циклуса која се може користити за усвојене вредности променљивих у одговарајућем опсегу</li> </ul>
25	Chen C.Y.J., George E.L., Tardif V. [22]	2001.	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ индустрија полупроводника</li> <li>✓ анализира се операција "фотолитографија" која представља уско грло у производњи</li> <li>✓ серијска производња (од 1 до 27 комада по лоту)</li> <li>✓ анализирано је 137 серија у временском периоду од 4 месеца</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ пројектовање модела за предвиђање производног циклуса</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ анализа производног циклуса и примена Бајесовог модела за предвиђање производног циклуса на бази прикупљених статистичких података</li> <li>✓ средње време циклуса креће се у распону од 6ч до 20ч</li> </ul>
26	Puich M. [175]	2001.	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ општи модел</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ скраћење производног циклуса кроз фазе планирања, производње и контроле</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ теоријски приступ скраћењу производног циклуса</li> <li>✓ разрађена је методологија која се састоји од пет корака: 1. разумевање и оцена постојећег стања (разумевање тока материјала и информација); 2. утврђивање теоријске дужине производног циклуса; 3. одређивање коефицијента протока; 4. скраћење циклуса производње кроз фазу пројектовања и 5. имплементација пројектованих решења и анализа добијених резултата</li> </ul>
27	Chincholkar M. [23]	2002.	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ производи за потребе електронске индустрије (штампана плоча)</li> <li>✓ серијска производња</li> <li>✓ висок степен аутоматизације</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ пројектовање производа и анализа произв. циклуса</li> <li>✓ производни циклус обухвата активности потребне за реализацију радног налога</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ развијени су аналитички модели за процену производног циклуса новог производа (модификованог производа) узимајући у обзир постојеће капацитете и стање <i>PPS</i>-а.</li> </ul>

1	2	3	4	5	6
28	Kren L., Tyson T. [135]	2002.	✓ изоловани процеси који се одвојено контролишу и прате (хелијска производња)	✓ идентификација уских грла као критичних индикатора у производном циклусу ✓ производни циклус обухвата време између почетка и завршетка радног налога	✓ теоријска разматрања и пример из праксе ✓ утицај метрике временског циклуса на трошкове у условима хелијске производње
29	Klarin M., Misita M., Spasojevic Brkic V. [115]	2002.	✓ металопераћивачка индустрија	✓ пројектовање вишедимензионалног модела за терминирање и праћење производње	✓ теоријска разматрања са примерима из праксе ✓ вишедимензионални модел (делови - машине - време) ✓ степен коришћења капацитета и губици по узроцима застоја ✓ аналитички изрази за коефицијент протока у функцији од технолошког циклуса по узастопном начину кретања предмета рада
30	Обрадовић Ј. [160]	2003.	✓ усклађивање производње са потражњом, у задатом временском интервалу, тако да производња буде правовремена, без залиха ✓ могући обим производње у задатим временским периодима креће се између песимистичких (доња граница) и оптимистичких вредности (горња граница)	✓ примена математичких модела за планирање производње без залиха	✓ оптимални обим производње у задатим временским интервалима који минимизира укупне трошкове производње и трошкове складиштења
31	Johnson J.D. [75]	2003.	✓ производно окружење са два радна места ✓ појединачна и малосеријска производња (до 10 ком) ✓ узастопни начин кретања предмета рада ✓ полазне основе за истраживање засноване су на студији случаја скраћења производног циклуса код четири различита предузећа које је спровео аутор	✓ идентификација фактора који утичу на пропусну моћ у производњи (тј. време између издавања налога производњи до њеног пријема у залихе готових производа) ✓ истраживање међусобних интеракција у циљу смањења њиховог негативног утицаја на производни циклус	✓ теоријски пример ✓ идентификација утицајних фактора на дужину циклуса ✓ примена теорије редова чекања на утврђивању пропусне моћи ✓ методологија и резултати истраживања приказани су са довољним бројем појединости тако да представља добар водич за практичара како да скрати пропусну моћ, а истовремено је и довољно уопштен да може да се примени у већини ситуација у процесу производње
32	Shah R., Ward P.T. [192]	2003.	✓ подаци за анализу узети из "пословног магазина - <i>IndustryWeek's Census of Manufacturers</i> "	✓ примена принципа <i>Lean</i> производње на перформансе предузећа	✓ теоријски приступ ✓ имплементација <i>Lean</i> алата ( <i>JIT</i> , <i>TQM</i> , <i>TPM</i> и <i>HRM</i> ) позитивно утиче на перформансе предузећа а самим тим и на скраћење циклуса производње



1	2	3	4	5	6
33	Кларин М.М. и др. [118]	2003.	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ металоперађивачка индустрија (ИКЛ, Београд)</li> <li>✓ истраживање извршено у периоду од 1986-1992.</li> <li>✓ снимање извршено на узорку од 60 машина</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ истраживање расположивости и искоришћености производних капацитета</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ истраживања показују значајна колебања средњих годишњих времена у раду и времена у отказу, а тиме и расположивости машина и опреме и степена искоришћења капацитета</li> <li>✓ једноцифрени проценат коришћења капацитета говори да су сви други, непроизводни фактори (интерни и екстерни) толико неповољни да степен коришћења капацитета и расположивост машина и опреме губе смисао релевантних показатеља производње, а тиме и пословања</li> <li>✓ применом <i>MTZ</i> могуће је пратити расположивост опреме, степен коришћења капацитета као и узрочнике застоја</li> </ul>
34	Ko S.S., Serfozo R.F., Sivakumar A.I. [120]	2004.	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ индустрија полупроводника</li> <li>✓ анализирају се две завршне фазе производње (склапање полупроводника и тестирање)</li> <li>✓ наставак претходних теоријских истраживања [197]</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ скраћење производног циклуса уједначавањем брзине инпута и опслуживања</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ полазећи од претходних истраживања [197] аутори су доказали да се са одређеном брзином пропусне моћи или инпута добија најкраће време производног циклуса. Доказали су да овај принцип важи за <i>M/G/l</i> и <i>M/M/s</i> системе са чекањем и за Џексонове мреже (<i>Jackson networks</i>)</li> </ul>
35	Schultz C.R. [189]	2004.	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ радна станица са више радних места</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ очекивано време производног циклуса</li> <li>✓ утицај одржавања машинског парка на дужину производног циклуса</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ одржавање залиха резервних делова смањује средње време за оправке што резултује повећањем доступности машине и скраћењем производног циклуса</li> <li>✓ модели приказани у овом раду могу да се користе за предвиђање и анализу просечног времена трајања производног циклуса</li> </ul>
36	Радојевић З., Радојевић М. [177]	2005.	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ појединачна, серијска и масовна производња</li> <li>✓ сложен производ</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ пројектни приступ управљању производњом једног или више сложених производа</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ теоријска разматрања</li> </ul>
37	Khalil R. [109]	2005.	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ истраживање спроведено у две фабрике (Airbus Ltd и Caterpillar BCP)</li> <li>✓ производне линије до 21 радне станице</li> <li>✓ нестабилан процес производње</li> <li>✓ узак производни програм (крила за авионе, грађевинске машине)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ утицај отказа (застоја) на ефикасност протока у производном систему</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ развијени математ. модели за квантитативну процену нивоа отказа (застоја) на индивидуалним радним станицама који су узрок нестабилности временског циклуса радне станице. Један модел се односи на детаљно дефинисање индивидуалних извора нестабилности (време настајања узрока нестабилности, трајање нестабилности и ниво његовог утицаја). Други модел комбинује све узроке нестабилности у једну расподелу вероватноћа на радној станици.</li> </ul>
38	Ивковић Д., Живковић С. [72]	2005.	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ дрвна индустрија (столица)</li> <li>✓ паралелни начин кретања предмета рада</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ истраживање технолошког циклуса по узас. начину кретања предмета рада</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ средњи коефицијенти протока по групама производа крећу се у интервалу од 0,50 до 8,58</li> </ul>

1	2	3	4	5	6
38	(наставак)		<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ кратка времена обраде</li> <li>✓ серијска производња (од 60 до 2000 комада по серији)</li> <li>✓ анализирано је 18 радних налога за шест врста производа</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ анализа коефицијента протока материјала</li> <li>✓ идентификација узрочника застоја</li> <li>✓ за почетак циклуса узет тренутак пуштања радног налога у производњу, а за крај циклуса узет је тренутак завршетка радног налога и његово складиштење у магацину</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ добијени резултати указују на знатне пропусте у организацији производње и њену оптерећеност међуоперацијским застојима</li> <li>✓ идентификовани су најзначајнији узрочници застоја (чекање на контролу, чекање на обраду, транспорт, и друга чекања између операција, као нпр. због шкарта, квара машине и сл.)</li> </ul>
39	Romanowski C.J., Nagi R. [185]	2005.	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ група сложених производа</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ опис структуре сложеног производа</li> <li>✓ поређење графова сложених производа и формирање фамилије сличних производа</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ графички и матрични приказ структуре сложеног производа</li> <li>✓ развијен полиномски временски алгоритам за проналажење минималне пондерисане симетричне разлике између два "неуређена стабла"</li> <li>✓ резултати алгоритма се користе за груписање шема рашчлањавања у фамилије производа</li> </ul>
40	Fitouhi C.M. [58]	2006.	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ дрвна индустрија (стругара)</li> <li>✓ једноделни производ (пет различитих димензија даски)</li> <li>✓ истраживање спроведено на једном производу који учествује са 60% производног програма фабрике</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ истраживање трајања циклуса почев од наруџбине па до испоруке (сеча дрвећа, сушење, обрада дрвета и испорука кушцу)</li> <li>✓ идентификација узрочника, мерење и анализа застоја у циклусу</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ за утврђивање укупног времена циклуса коришћене су аналитичке, емпиријске и теоријске методе</li> <li>✓ укупно време циклуса које износи 615 часова при чему губици у циклусу износе 86,5% (узета у обзир сва непроизводна времена као губитак)</li> <li>✓ идентификовани су следећи узрочници губитака: одржавање опреме, чекање на извршење операције (уско грло у производњи представља операција сушења), лоша организација, велике залихе, лош информациони систем</li> <li>✓ урађена је мапа тока стварања нове вредности (<i>value-stream map</i>) и предложене су смернице за унапређење пословања и скраћење циклуса</li> </ul>
41	Liu O. [140]	2006.	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ појединачна и малосеријска производња</li> <li>✓ узастопни начин кретања предмета рада</li> <li>✓ мале производне линије</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ предвиђање времена завршетка производње у циљу испуњења уговорених рокова испоруке</li> <li>✓ производни циклус детерминишу радни налози на производној линији</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ развијен је математички модел <i>LP</i> који служи за предвиђање времена завршетка послова и одређивање оптималног прекорачења времена у циљу испуњења правовременог завршетка производње, при чему је коришћен софтвер <i>ILOG-OPL studio/CPLEX</i> за решавање математичког модела и софтверски пакет "<i>Arena</i>" за симулацију</li> </ul>
42	Mula J. и др. [156]	2006.	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ производња у условима неизвесности</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ критички осврт постојеће литературе која третира</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ теоријски рад о планирању производње у условима неизвесности</li> </ul>

1	2	3	4	5	6
42	(наставак)			проблематику планирања производње у условима неизвесности као полазиште за управљање производњом (87 цитата у периоду од 1983-2004.)	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ дефинисане су класификационе шеме за моделе за планирање производње у условима неизвесности</li> <li>✓ аналитички приступ моделовања (стохастичко програмирање) најчешће се налази у литератури. У случају динамичког програмирања, неколико модела је пронађено и били су углавном теоријски</li> <li>✓ већина аналитичких модела обухвата само једну врсту неизвесности, и претпоставља једноставну структуру производног процеса</li> <li>✓ за више сложених процеса, са много различитих финалних производа и више од једног типа неизвесности, аналитички приступ је замењен методологијом оријентисаној ка вештачкој интелигенцији и симулацијама</li> <li>✓ модели засновани на теорији фази скупова представљају атрактиван алат при истраживању и управљању производњом.</li> </ul>
43	Ram В. и др. [181]	2006.	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ прехранбена индустрија</li> <li>✓ флексибилна структура сложених производа (могућност замене делова са одговарајућим алтернативама)</li> <li>✓ два нивоа у структури (делови, завршна монтажа)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ реализација главног плана производње сложених производа у ситуацијама несташице одређених делова и могућношћу њихове алтернативне замене</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ разрађен алгоритам заснован на коришћењу методе Линеарног програмирања (<i>LP</i>) са циљем да се задовоље потребе за финалним производом, са једне стране, уз што мање одступање од структуре производа са друге стране</li> </ul>
44	Михаиловић И. и др. [149]	2007.	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ оптимална производна серија</li> <li>✓ синхронизована производња</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ примена <i>Just in time</i> принципа у набавци и производњи</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ теоријска разматрања</li> </ul>
45	Berlec T. и др. [7]	2008.	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ металоперађивачка индустрија (израда алата)</li> <li>✓ појединачна производња</li> <li>✓ узастопни начин кретања предмета рада</li> <li>✓ израда алата за производњу филтра у домаћинству</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ предвиђање времена испоруке наручених алата у зависности од трајања циклуса производње</li> <li>✓ циклус обухвата временски период од примања поруџбине до испоруке</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ развијен је модел за предвиђање времена испоруке нарученог производа који се састоји од шест корака</li> <li>✓ модел је тестиран у алатници фирме ETI doo у Словенији</li> <li>✓ у предложеном моделу поред постојећег <i>ERP</i> система (<i>Enterprise Resource Planning</i>) и MS Excel-а користи се и <i>MATLAB</i> за извршење математичких операција и графички приказ резултата</li> <li>✓ за анализирани производ време испоруке износи 77 кал. дана са вероватноћом 0,5 односно 120 кал. дана са вероватноћом 0,9 (извршено је 10.000 итерација)</li> </ul>
46	Nadas L., Cyplik P., Fertsch M. [66]	2009.	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ металоперађивачка индустрија (производња бродских мотора велике снаге)</li> <li>✓ сложен производ</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ циклус производње и коефицијент протока</li> <li>✓ идентификација критичних ресурса (машина)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ развијен је модел (алгоритам) за планирање и управљање производњом узимајући у обзир ограничења критичних ресурса и залихе у производњи код критичних ресурса</li> </ul>

1	2	3	4	5	6
46	(наставак)		<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ појединачна и малосеријска производња (око 30 мотора на годишњем нивоу)</li> <li>✓ дуг производни циклус (око 12 месеци) и висок ниво ангажовања финансијских средстава</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ приказана је зависност између стварне и теоријске дужине циклуса са аспекта просечног оптерећења радне станице и вредности коефицијента протока</li> <li>✓ обрадни центар који служи за израду статора представља критичан ресурс</li> </ul>
47	Li L. и др. [137]	2009.	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ сложен производ (аутомобил)</li> <li>✓ линија за монтажу</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ оптимизација производње у реалном времену кроз контролу уских грла у условима динамичне промене у производњи</li> <li>✓ фокус истраживања је у идентификацији и смањењу застоја</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ ефикасно искоришћење ограничених производних ресурса у условима динамичких захтева реализовано је помоћу технике прилагођавања иницијалних залиха на уском грлу и потребе за одржавањем истог</li> <li>✓ резултати ове студије случаја показују да активности одржавања треба прво усмерити на машине које изазивају највеће губитке у производњи, а самим тим представљају уска грла, која детерминишу пропусну моћ монтажне линије</li> <li>✓ аутори предлажу да се за идентификацију уских грла користе информације од стране сензора што омогућава реаговање у реалном времену и максимално повећање будућег учинка система</li> </ul>
48	Милановић Д.Д., Несторов А. [154]	2010.	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ производња делова од гуме за потребе фармацевтске индустрије</li> <li>✓ велики број артикала у производном програму</li> <li>✓ мале серије</li> <li>✓ флексибилна производња</li> <li>✓ значајно учешће припремно-завршних времена што има за последицу повећање трајања производње</li> <li>✓ четворосмени рад у свим фазама производње</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ управљање производњом помоћу наруџби у фабрици WPS Ковин</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ дизајнирање процеса производње помоћу блок дијаграма</li> <li>✓ пријем поруџбине, израда основног плана производње, провера снабдевености са потребним инпутима</li> <li>✓ лансирање радног налога и терминирање производње помоћу одговарајућих модула SAP-а</li> </ul>
49	Ђукић Р. и др. [34], [35], [36], [37], [38], [39], [40], [42], [46], [47], [48], [50], [51], [52], [53], [54], [55], [56]	2005-2010.	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ сложен производни програм</li> <li>✓ сложени производи специјалне намене</li> <li>✓ разноврсне технологије и опрема</li> <li>✓ производња по поруџбинама коју карактерише глобализација пословања и висок степен неизвесности</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ динамичко уравнотежење и управљање SPPS-има</li> <li>✓ идентификација и истраживање кључних процеса и модела за управљање производним системима у циљу постизања оптималних перформанси</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ модели за опис структуре сложеног производа</li> <li>✓ емпиријске формуле за израчунавање технолошког циклуса и истраживање коефицијента протока и времена производње између суседних серија</li> <li>✓ степен коришћења производних капацитета и структура губитака</li> <li>✓ модели за предвиђање тражње и оптимизацију производног програма</li> </ul>

1	2	3	4	5	6
49	(наставак)		<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ строги захтеви по питању квалитета и рокова испоруке</li> <li>✓ серијска, понављајућа, дисконтинуална производња</li> <li>✓ комбиновани и паралелни начин кретања предмета рада</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ модели за анализу и пројектовање одговарајућих финансијских показатеља пословања</li> <li>✓ пројектни приступ</li> </ul>
50	Eckert M.C., Clarkson P.J. [57]	2010.	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ сложен производ (авион, аутомобил, дизел мотор)</li> <li>✓ индустријска пракса више компанија</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ планирање процеса производње у фази развоја новог производа</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ теоријска разматрања</li> <li>✓ описује се тренутна пракса планирања процеса при развоју новог производа</li> <li>✓ компаније немају јединствени план који покрива све врсте планирања</li> <li>✓ постоји већи број различитих планова између којих је постигнут задовољавајући ниво кохерентности</li> </ul>
51	Lati N., Gilad I. [136]	2010.	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ индустрија полупроводника</li> <li>✓ истраживање спроведено за једну серију производа</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ рад се бави проблемом оптималног распореда покрета манипулатора при снабдевању радних станица са предметом рада у оквиру обрадног центра</li> <li>✓ минимизација непродуктивног производног времена</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ развијен је алгоритам за минимизирање непродуктивног времена код уског грла (<i>MinBIT – minimizing bottleneck idle time</i>) који се користи као нови метод распореда покрета манипулатора</li> <li>✓ <i>MinBIT</i> алгоритам даје предност фази уског грла, чиме доводи до смањења губитака у циклусу (чекање)</li> <li>✓ резултати прорачунавања показују да <i>MinBIT</i> алгоритам може да побољша учинак обрадног центра до 10%</li> <li>✓ <i>MinBIT</i> је лак за примену, флексибилан и супериоран у односу на постојеће алгоритме</li> <li>✓ данас многе инд. гране користе манипулаторе (роботске ћелије) као део производног процеса. Предложени метод може да се примени и у овим индустријама да би се скратило време производње и повећала пропусна моћ траке</li> </ul>
52	Patti A.L., Watson K.J. [165]	2010.	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ серијска производња</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ истраживање застоја и компјутерска симулација утицаја различитих губитака на учинак у серијској производњи</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ теоријска разматрања</li> <li>✓ истраживање показује да различите комбинације фреквенција појављивања и времена отклањања отказа имају различити утицај на производне линије, чак и када је исто укупно време застоја у производњи</li> <li>✓ анализа показује да дугачко трајање и ретко настајање застоја има много већи негативан утицај на учинак система него кратко трајање и честа појава застоја</li> <li>✓ резултати истраживања могу се ефикасно користити при формулисању политике одржавања. Превасходно се треба усредсредити на проблеме одржавања који имају за последицу дуже време потребно за поправке</li> </ul>

1	2	3	4	5	6
52	(наставак)				✓ истраживање помаже да се разуме веза између политике превентивног одржавања, непланираног застоја у раду опреме, фреквенције и трајања застоја и залиха
53	Cudney E. [24]	2010.	✓ металопераћивачка индустрија ✓ производња осовине	✓ примена принципа <i>Lean</i> производње	✓ имплементацијом <i>Lean</i> алата у производњи постигнути су следећи резултати: повећање производње за 72%, недовршена производња смањена за 97%, шкарт смањен за 43%, искоришћеност машина повећана за 50%, степен коришћења радне снаге повећан за 25%, цена рада смањена за 33%
54	Phan C.A., Matsui Y. [171]	2010.	✓ производна предузећа ✓ анкетирано је 163 фабрике (Немачка-41, Италија-27, Јапан-35, Кореја-31 и САД -29)	✓ утицај различитих приступа <i>JIT</i> -а на производне перформансе	✓ корелационом и регресионом анализом ( <i>ANOVA</i> ) установљени су највећи ефекти коришћења <i>JIT</i> -а ✓ најбољи резултати су постигнути у домену трошкова, флексибилности у набавци од добављача и испоруци купцима, скраћењу циклуса производње смањењем времена подешавања машина
55	Mackelprang A.W., Nair A. [141]	2010.	✓ производна предузећа ✓ анализа 26 радова објављених у периоду од 1992-2008. године	✓ зависност између <i>JIT</i> производне праксе и резултата пословања	✓ утврђен је позитиван однос између <i>JIT</i> производне праксе и резултата пословања ✓ исти принципи <i>JIT</i> -а у различитим предузећима не утичу идентично на излазне параметре
56	Doboviček S. и др. [30]	2010.	✓ производни систем ✓ више производа	✓ планирање производње више производа користећи графичку методу ✓ производни циклус обухвата технолошке и транспортне операције	✓ теоријски аспект планирања производног циклуса ✓ графички приказ симулације тока материјала у производном систему ✓ визуелни приказ омогућује оптимизацију трајања производног циклуса
57	Mikati N. [150]	2010.	✓ серијска производња ✓ уско грло у производњи представља претпоследња операција из технолошког поступка која се односи на статистичку контролу узорка из серије	✓ динамички модели за оптимизацију величине серије са аспекта минимизације циклуса производње и оптималног коришћења уског грла ✓ производни циклус обухвата временски период од прихватања поруџбине до испоруке купцу	✓ теоријски приступ са примером ✓ динамички модел са симулацијом у софтверском пакету <i>VENSIM</i> ✓ зависност између производног циклуса и величине серије ✓ испод оптималне величине серије трајање циклуса се нагло повећава услед загушења на уском грлу ✓ модел се може користити за планирање производње као и за спровођење мера побољшања производног процеса
58	Радојковић Д. [178]	2011.	✓ серијска и појединачна производња у фабрикама "ИНСА" Земун, "ИПМ" Београд и "Лимар" Зрењанин	✓ скраћење производних циклуса применом модификоване методе тренутних запажања ( <i>MTZ</i> )	✓ коефицијент протока по снимачким данима и укупан за серију делова по радним налозима ✓ губици у циклусу по врсти застоја и укупни губици

1	2	3	4	5	6
58	(наставак)		<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ за сваки снимачки дан бележени су ефекти производње а <i>MTZ</i> укупан број и врста застоја</li> <li>✓ по снимачком дану укупно је реализовано 25 обилазака</li> <li>✓ укупан број снимачких дана диктира величина серија анализираних производа</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ утицај застоја на стабилност производних циклуса по снимачким данима</li> <li>✓ степен коришћења производних капацитета</li> </ul>
59	Paneru N. [162]	2011.	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ текстилна индустрија (мушка кошуља)</li> <li>✓ серијска производња</li> <li>✓ узастопни начин кретања предмета рада</li> <li>✓ производна трака за израду мушке кошуље</li> <li>✓ збирно паковање садржи од 20 до 30 јединица производа</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ примена <i>Lean</i> принципа у текстилној индустрији</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ стандардизоване су тех. опер. и урађена је студија времена</li> <li>✓ формирана ћелијска производња на принципу групне технологије уместо дуге производне линије</li> <li>✓ сваки део кошуље (рукав, крагна и сл.) производи се у оквиру посебне ћелије</li> <li>✓ ћелија за завршно склапање кошуље заузима централно место у односу на остале производне ћелије</li> <li>✓ узастопни начин кретања предмета рада замењен је са паралелним</li> <li>✓ ефикасније коришћење радног времена омогућено је ангажовањем радника на више послова</li> <li>✓ ефекти: време производње смањено за 8% , укупан број операција смањен са 44 на 36, број радника смањен за око 14%, дорада смањена за 80%, побољшане вештине радника, боља флексибилност производње</li> </ul>
60	Venter J.P. [215]	2011.	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ металоперађивачка индустрија</li> <li>✓ сложен производ</li> <li>✓ производња пољопривредне опреме</li> <li>✓ серијска, понављајућа производња дисконтинуалног типа</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ развој процедура за оптимизацију производног циклуса</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ приказ и анализа претходних истраживања у циљу утврђивања најефикаснијих метода <i>Lean</i> производње</li> <li>✓ емпиријско истраживање базирано на анкетирању запослених у циљу изналажења најбоље методе за скраћење циклуса производње</li> <li>✓ анализирани су постојећи токови производње и на основу уочених недостатака извршено је мапирање тока стварања нове вредности (<i>value-stream map</i>)</li> <li>✓ анализиран је процес заваривања и након примене <i>Lean</i> метода добијени су следећи резултати: смањен је број технолошких операција са 33 на 25, укупно време смањено је са 34 на 24 минута, производне операције учествују у укупном циклусу са око 85% уместо 73%</li> <li>✓ трајање циклуса почев од наруџбине преко набавке материјала па до испоруке смањено је за око 12% (са 103,75 на 93 дана)</li> </ul>

1	2	3	4	5	6
61	Alfieri A., Tolio T., Urgo M. [2]	2011.	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ производња CNC машина</li> <li>✓ производња по наруџбини</li> <li>✓ сложен и високо стандардизован производ (могућа је модификација у зависности од захтева купаца)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ пројектни приступ планирању са преклапањем производних активности</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ развијена су два математичка модела за чије решавање је коришћен софтвер <i>logCPLEX</i></li> <li>✓ нумерички резултати показују да је овај приступ изводљив само код случајева са малим бројем активности и да није за решавање великих проблема</li> <li>✓ први модел је применљив код проблема до 30 активности, док други може да решава проблеме који имају до 60 активности</li> <li>✓ модели се користе за дефинисање основног плана производње. У случају промена могућа је модификација</li> </ul>
62	Кларин М., и др. [114]  Чала И. и др. [27]	2012.  2011.	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ металопрерађивачка индустрија (малосеријска и великосеријска производња)</li> <li>✓ текстилна индустрија</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ подручја примене стохастичког модела за утврђивање производног циклуса</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ приказани су стохастички модели за утврђивање елемената времена у PC у производњи делова за аутомобилску индустрију и производњи војне и ватрогасне одеће</li> <li>✓ приказана структура производног циклуса са производним и непроизводним временима</li> <li>✓ приказана зависност коефицијента протока у функцији од технолошког циклуса</li> </ul>
63	Ho W.T., Pan J.C.H., Hsiao Y.C. [68]	2012.	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ ланци снабдевања</li> <li>✓ сложен производ</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ проучава се проблем вишефазне логистике и проблем залиха у условима континуалне производње за потребе монтаже сложеног производа</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ теоријска истраживања са илустративним примером</li> <li>✓ у раду су развијени алгоритми оптимизације за одређивање величине серије, оптималне величине подсерије и броја подсерија за сваку фазу производње</li> <li>✓ ланци снабдевања "типа склапања" приказани су у облику композитне формулације засноване на <i>kanban</i> систему правовремене испоруке</li> </ul>
64	Kashkoush M., ElMaraghy H. [107]	2013.	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ сложен производ</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ дефинисање структуре новог производа коришћењем постојећих структура сличних производа</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ развијен је нови метод за дефинисање "шеме рашчлањавања" који користи алгоритме линеарног времена</li> <li>✓ нови метод је рачунски ефикаснији јер су досадашњи алгоритми користили целобројно програмирање и усклађивање матрица</li> </ul>
65	Siti N.I., Rohaizan R., Lee Y.H. [196]	2013.	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ производне компаније</li> <li>✓ наставак претходних истраживања [155]</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ имплементација <i>MRP (Materials Requirements Planning)</i> у производним компанијама</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ теоријска разматрања</li> <li>✓ анализа претходних искустава и истраживања</li> <li>✓ развијена је методологија за имплементацију <i>MRP</i>-а</li> </ul>
66	Кондратьева М.Н. [122]	2013.	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ сви типови производње</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ структура и прорачун производног циклуса</li> <li>✓ принципи и организација савремене производње</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ теоријска истраживања са илустративним примерима</li> </ul>

**Напомена:** научни радови + стручни радови = 54 (56%) + 43 (44%) = 97 (100%), временски период истраживања-публиковања 1974-2013. године



Прилог 2: Програм (*PPTCOPF3*) за прорачун технолошких циклуса операција и производних фаза, релације (124) – (127), (129), (132) и (140)

```
(*ULAZNI PODACI: naziv PF-e, A={n, θn, q, p}, θn=(ti, i=1, n)*)
pf = primer;
q = 12;
p = 9;
n = 10;
t[1] = 4;
t[2] = 2;
t[3] = 2;
t[4] = 3;
t[5] = 2;
t[6] = 5;
t[7] = 1;
t[8] = 4;
t[9] = 3;
t[10] = 4;

(*GLAVNI DEO PROGRAMA*)
t[n - n] = 0;
t[n + 1] = 0;
tt = Array[t, n + 2, 0];
τ = Table[tt[[i]], {i, 2, n + 1}];
a = Table[If[tt[[k-1]] < tt[[k]] ∧ tt[[k]] ≥ tt[[k+1]], tt[[k]], 0], {k, 2, n + 1}];
k = ∑i=1n a[[i]];
b = Table[If[tt[[j-1]] ≥ tt[[j]] ∧ tt[[j]] < tt[[j+1]], tt[[j]], 0], {j, 3, n}];
j = ∑i=1n-2 b[[i]];
c = ∑i=2n+1 tt[[i]];
d = Max[tt];
tu = SetPrecision[q × c, 4];
tk = SetPrecision[p × c + (q - p) (k - j), 4];
tp = SetPrecision[p × c + (q - p) d, 4];
ko = Table[Max[Table[τ[[j]], {j, 1, i}]] - τ[[i]], {i, 1, n}];
pko = Flatten[Position[ko, 0]];
τuo = (q - p) × ko;
στuo = ∑i=1n τuo[[i]];
pzp = SetPrecision[ $\frac{\sigma\tau uo}{tp} \times 100$ , 4];
tti = Table[q × τ[[i]], {i, 1, n}];
stti = ∑i=1n tti[[i]];
p1 = SetPrecision[ $\frac{\sigma\tau uo}{stti} \times 100$ , 4];
toi = Table[tti[[i]] + τuo[[i]], {i, 1, n}];
stoi = ∑i=1n toi[[i]];
p2 = SetPrecision[ $\frac{\sigma\tau uo}{stoi} \times 100$ , 4];
```

```

v = Table[i, {i, 1, n}];
poo = Complement[v, pko];

(*REZULTATI KOJI SE ŠTAMPAJU*)
Print["ULAZNI PODACI:"]
Print["1. Naziv PF-e: ", pf, ", Serija: q=", q,
      " kom, Proizvodno-transportna partija: p=", p, " kom"]
Print["2. Boj operacija: n=", n,
      ", Vremena po operacijama  $\theta_n = (t_i, i=1, \bar{n}) : \theta$ ", "=",  $\tau$ ]
Print["REZULTATI:"]
Print["1. Skup operacija kod kojih su
      tehnološki unutaroperacijski zastoј  $\tau_{uo_i} = 0 \rightarrow i =$ ", pko]
Print["2. Skup operacija kod kojih su tehnološki
      unutaroperacijski zastoј  $\tau_{uo_i} > 0 \rightarrow i =$ ", poo]
Print["3. Vrednosti  $t_{t_i}^{(o)}$  tehnoloških ciklusa i
      unutaroperacijskih zastoја  $\tau_{uo_i}$  po operacijama:"]
Do[Print["i=", i, " ", "t"i"=",  $\tau_{[i]}$ , " ", "t"ti"(o,u)", "=", "t"ti"(o,k)", "=",
      tti[i], " ", "t"ti"(o,p)", "=", toi[i], " ", "t"uoi"=",  $\tau_{uo_{[i]}}$ ], {i, 1, n}];
Print["4. Ukupni tehnološki unutaroperacijski zastoји PF-e:  $\tau_{uo}^{(pf)} = \sum_{i=1}^n \tau_{uo_i}$ ", s $\tau_{uo}$ ]
Print["5. Zbir svih ciklusa operacija PF-e
      po U i K načinu KPR:  $t_{t_{pf}}^{(o,u)} = t_{t_{pf}}^{(o,k)} = \sum_{i=1}^n t_{t_i}^{(o,u)} = \sum_{i=1}^n t_{t_i}^{(o,k)}$ ", stti]
Print["6. Procentualni iznos ukupnih zastoја:  $\frac{\tau_{uo}^{(pf)}}{t_{t_{pf}}^{(o,u)}} \times 100 = \frac{\tau_{uo}^{(pf)}}{t_{t_{pf}}^{(o,k)}} \times 100 =$ ", p1, "%"]
Print["7. Zbir svih ciklusa operacija PF-e po P načinu KPR:  $t_{t_{pf}}^{(o,p)} = \sum_{i=1}^n t_{t_i}^{(o,p)}$ ", stoi]
Print["8. Procentualni iznos ukupnih zastoја:  $\frac{\tau_{uo}^{(pf)}}{t_{t_{pf}}^{(o,p)}} \times 100 =$ ", p2, "%"]
Print["9. Parametri za izračunavanje tehnološkog ciklusa:"]
Print[" $\sum_{i=1}^n t_i =$ ", c, ",  $\max\{t_i\} = t_{max} =$ ", d, ",  $\sum_k t_k =$ ", k, ",  $\sum_j t_j =$ ", j]
If[d = k - j  $\vee$  q = p, Print["10. Ispitivanje odnosa  $t_t^{(p)}$  i  $t_t^{(k)}$ :  $t_t^{(p)} \equiv t_t^{(k)}$ ",
  Print["10. Ispitivanje odnosa  $t_t^{(p)}$  i  $t_t^{(k)}$ :  $t_t^{(p)} < t_t^{(k)}$ "];
Print["11. Vrednosti tehnoloških ciklusa:"]
Print["Uzastopan:  $t_t^{(u)} =$ ", tu, ", Kombinovan:  $t_t^{(k)} =$ ", tk, ", Paralelan:  $t_t^{(p)} =$ ", tp]
Print["ZAKLJUČAK:"]

Print["1. Iznos ukupnih zastoја  $\tau_{uo}^{(pf)}$  u odnosu na trajanje ciklusa  $t_t^{(p)}$ :  $\frac{\tau_{uo}^{(pf)}}{t_t^{(p)}} \times 100 =$ ",
  pzp, "%"]
If[tp = tk  $\wedge$  q = p, Print["2.  $T_t^{(p)} =$ ", tp, "  $\equiv T_t^{(k)} =$ ", tk, "  $\equiv T_t^{(u)} =$ ", tu], e];
e = If[tp = tk  $\wedge$  q  $\neq$  p, Print["2.  $T_t^{(p)} =$ ", tp, "  $\equiv T_t^{(k)} =$ ", tk, "  $< T_t^{(u)} =$ ", tu], f];
f = If[tp < tk  $\wedge$  q  $\neq$  p, Print["2.  $T_t^{(p)} =$ ", tp, "  $< T_t^{(k)} =$ ", tk, "  $< T_t^{(u)} =$ ", tu]];
Clear[pf, q, p, n, tt,  $\tau$ , a, k, b, j, c, d, tu, tk, tp, ko,
  pko,  $\tau_{uo}$ , s $\tau_{uo}$ , pzp, tti, stti, p1, toi, stoi, p2, v, poo, e, f]
(*KRAJ PROGRAMA*)

```

Прилог 3: Програм (*PPTCOPF2*) за прорачун технолошких циклуса операција и производних фаза, релације (124) – (127), (129), (132) и (147)

```
(*ULAZNI PODACI: naziv PF-e, A={n, θn, q, p}, θn=(ti, i=1, n)*)
pf = primer;
q = 12;
p = 9;
n = 10;
t[1] = 4;
t[2] = 2;
t[3] = 2;
t[4] = 3;
t[5] = 2;
t[6] = 5;
t[7] = 1;
t[8] = 4;
t[9] = 3;
t[10] = 4;

(*PROGRAM*)
t[n - n] = 0;
tt = Array[t, n + 1, 0];
τ = Table[tt[[i]], {i, 2, n + 1}];
a = Table[If[tt[[i]] ≤ tt[[i-1]], 0, tt[[i]] - tt[[i-1]], {i, 2, n + 1}];
b = ∑i=1n a[[i]];
c = ∑i=2n+1 tt[[i]];
d = Max[tt];
tu = SetPrecision[q c, 4];
tk = SetPrecision[p × c + (q - p) b, 4];
tp = SetPrecision[p × c + (q - p) d, 4];
ko = Table[Max[Table[τ[[j]], {j, 1, i}]] - τ[[i]], {i, 1, n}];
pko = Flatten[Position[ko, 0]];
τuo = (q - p) × ko;
στuo = ∑i=1n τuo[[i]];
pzp = SetPrecision[ $\frac{\sigma\tau uo}{tp} \times 100$ , 4];
tti = Table[q × τ[[i]], {i, 1, n}];
stti = ∑i=1n tti[[i]];
p1 = SetPrecision[ $\frac{\sigma\tau uo}{stti} \times 100$ , 4];
toi = Table[tti[[i]] + τuo[[i]], {i, 1, n}];
stoi = ∑i=1n toi[[i]];
p2 = SetPrecision[ $\frac{\sigma\tau uo}{stoi} \times 100$ , 4];
v = Table[i, {i, 1, n}];
poo = Complement[v, pko];
(*ŠTAMPANJE REZULTATA*)
Print["ULAZNI PODACI:"];
Print["1. Naziv PF-e: ", pf, ", Serija: q=",
q, " kom, Proizvodno-transportna partija: p=", p, " kom"];

```

```

Print["2. Boj operacija: n=", n,
  ", Vremena po operacijama  $\theta_n = (\tau_i, i=1, n) : \theta$ ", "=",  $\tau$ ];
Print["REZULTATI:"];
Print["1. Skup operacija kod kojih
  su tehnološki unutaroperacijski zastoј  $\tau_{uo_i}=0 \rightarrow i$ ", pko];
Print["2. Skup operacija kod kojih su tehnološki
  unutaroperacijski zastoј  $\tau_{uo_i}>0 \rightarrow i$ ", poo];
Print["3. Vrednosti  $t_{t_i}^{(o)}$  tehnoloških ciklusa i unutaroperacijskih
  zastoја  $\tau_{uo_i}$  po operacijama:"];
Do[Print["i=", i, " ", "t"i"=",  $\tau_{[i]}$ , " ", "t"ti"(o,u)", "=", "t"ti"(o,k)", "=",
  tti[i], " ", "t"ti"(o,p)", "=", toi[i], " ", "t"uoi"", "=",  $\tau_{uo_{[i]}}$ ], {i, 1, n}];
Print["4. Ukupni tehnološki unutaroperacijski zastoји PF-e:  $\tau_{uo}^{(pf)} = \sum_{i=1}^n \tau_{uo_i}$ ", s $\tau_{uo}$ ];
Print["5. Zbir svih ciklusa operacija PF-e
  po U i K načinu KPR:  $t_{t_{pf}}^{(o,u)} = t_{t_{pf}}^{(o,k)} = \sum_{i=1}^n t_{t_i}^{(o,u)} = \sum_{i=1}^n t_{t_i}^{(o,k)}$ ", stti];
Print["6. Procentualni iznos ukupnih zastoја:  $\frac{\tau_{uo}^{(pf)}}{t_{t_{pf}}^{(o,u)}} \times 100 = \frac{\tau_{uo}^{(pf)}}{t_{t_{pf}}^{(o,k)}} \times 100 =$  ", p1, "%"];
Print["7. Zbir svih ciklusa operacija PF-e po P načinu KPR:  $t_{t_{pf}}^{(o,p)} = \sum_{i=1}^n t_{t_i}^{(o,p)}$ ", stoi];
Print["8. Procentualni iznos ukupnih zastoја:  $\frac{\tau_{uo}^{(pf)}}{t_{t_{pf}}^{(o,p)}} \times 100 =$  ", p2, "%"];
Print["9. Parametri za izračunavanje tehnološkog ciklusa:"];
Print[" $\sum_{i=1}^n t_{t_i} =$ ", c, "  $\max\{t_{t_i}\} = t_{max} =$ ", d, "  $t_1 + \sum_{\alpha=2}^n (t_{t_\alpha} - t_{t_{\alpha-1}}) F_{t_\alpha} =$ ", b];
If[d = b ∨ q = p, Print["10. Ispitivanje odnosa  $t_{t_i}^{(p)}$  i  $t_{t_i}^{(k)}$ :  $t_{t_i}^{(p)} \equiv t_{t_i}^{(k)}$ "],
  Print["10. Ispitivanje odnosa  $t_{t_i}^{(p)}$  i  $t_{t_i}^{(k)}$ :  $t_{t_i}^{(p)} < t_{t_i}^{(k)}$ "];
Print["11. Vrednosti tehnoloških ciklusa:"];
Print["Uzastopan:  $t_{t_i}^{(u)} =$ ", tu, ", Kombinovan:  $t_{t_i}^{(k)} =$ ", tk, ", Paralelan:  $t_{t_i}^{(p)} =$ ", tp];
Print["ZAKLJUČAK:"];
Print["1. Iznos ukupnih zastoја  $\tau_{uo}^{(pf)}$  u odnosu na trajanje ciklusa  $t_{t_i}^{(p)}$ :  $\frac{\tau_{uo}^{(pf)}}{t_{t_i}^{(p)}} \times 100 =$  ",
  pzp, "%"];
If[tp = tk ∧ q = p, Print["2.  $T_{t_i}^{(p)} =$ ", tp, "  $\equiv T_{t_i}^{(k)} =$ ", tk, "  $\equiv T_{t_i}^{(u)} =$ ", tu], e];
e = If[tp = tk ∧ q ≠ p, Print["2.  $T_{t_i}^{(p)} =$ ", tp, "  $\equiv T_{t_i}^{(k)} =$ ", tk, "  $< T_{t_i}^{(u)} =$ ", tu], f];
f = If[tp < tk ∧ q ≠ p, Print["2.  $T_{t_i}^{(p)} =$ ", tp, "  $< T_{t_i}^{(k)} =$ ", tk, "  $< T_{t_i}^{(u)} =$ ", tu]];
Clear[pf, q, p, n, tt,  $\tau$ , a, b, c, d, tu, tk, tp, ko,
  pko,  $\tau_{uo}$ , s $\tau_{uo}$ , pzp, tti, stti, p1, toi, stoi, p2, v, poo, e, f]
(*KRAJ PROGRAMA*)

```

Прилог 4: Програм (*PPTCSPKP*) за прорачун технолошких циклуса сложеног производа на карактеристичном путу  $P_k = P_{v,1} \mid v \in V^{(p)}$  графа

```
(*ULAZNI PODACI: naziv SP-a,
  B={ $v \in V^{(p)}$ },  $P_{v,1} = (x_{i,j,k,\dots,m}, \dots, x_i)$ ,  $nn=d(v,1)$ ,  $(q_j, p_j, n_j, \theta_{n_j} = (t_i^{(j)}, i=\overline{1, n_j})) \mid j=\overline{1, nn}$ *)
put = { $x_{1,2,2,2,2}$ ,  $x_{1,2,2,2}$ ,  $x_{1,2}$ ,  $x_1$ };
pzc = 12.1;
nn = 4;

(*Količine PF-a po nivoima- q*)
q[1] = 12;
q[2] = 12;
q[3] = 4;
q[4] = 4;

(*Veličina partije po nivoima- p*)
p[1] = 1;
p[2] = 1;
p[3] = 1;
p[4] = 1;

(*Broj nj i trajanje operacija po nivoima- ti(j), j= $\overline{1, nn} \wedge i=\overline{1, n_j}$ *)
(*1. nivo, označavanje kreće od 1*)
n[1] = 5;
t[1] = 2;
t[2] = 1;
t[3] = 1;
t[4] = 1;
t[5] = 3;

(*2. nivo, index se uvećava za 1 sa prethodnog nivoa*)
n[2] = 5;
t[6] = 2;
t[7] = 1;
t[8] = 1;
t[9] = 2;
t[10] = 1;

(*3. nivo, index se uvećava za 1 sa prethodnog nivoa*)
n[3] = 5;
t[11] = 2;
t[12] = 1;
t[13] = 2;
t[14] = 1;
t[15] = 2;

(*4. nivo, index se uvećava za 1 sa prethodnog nivoa*)
n[4] = 5;
t[16] = 2;
t[17] = 1;
t[18] = 2;
t[19] = 3;
t[20] = 2;

(*provera tačnosti zadnjeg unosa n[nn] t[k], k= $\sum_{j=1}^{nn} n_{[j]}$ *)
```

```

(*PROGRAM*)
q = Array[q, nn, 1];
p = Array[p, nn, 1];
n = Array[n, nn, 1];

nu =  $\sum_{i=1}^{nn} n_{[i]}$ ;
t = Array[t, nu, 1];
n[0] = 0;

tt = Table[Table[t[i], {i,  $\sum_{j=1}^j n_{[j-1]} + 1, \sum_{j=1}^j n_{[j]}$ }], {j, 1, nn}];

ttt = Table[Insert[tt[j], 0, {{1}, {-1}}], {j, 1, nn}];
a = Table[Table[
    If[ttt[j,k-1] < ttt[j,k]  $\wedge$  ttt[j,k]  $\geq$  ttt[j,k+1], ttt[j,k], 0], {k, 2, n[j] + 1}], {j, 1, nn}];

kk = Table[ $\sum_{i=1}^{n_{[j]}}$  a[j,i], {j, 1, nn}];

b = Table[
    Table[If[ttt[j,i-1]  $\geq$  ttt[j,i]  $\wedge$  ttt[j,i] < ttt[j,i+1], ttt[j,i], 0], {i, 3, n[j]}], {j, 1, nn}];

jj = Table[ $\sum_{i=1}^{n_{[j]}-2}$  b[j,i], {j, 1, nn}];

c = Table[ $\sum_{i=1}^{n_{[j]}}$  tt[j,i], {j, 1, nn}];

d = Table[Max[tt[j]], {j, 1, nn}];
tu = SetPrecision[Table[q[j]  $\times$  c[j], {j, 1, nn}], 4];
tk = SetPrecision[Table[p[j]  $\times$  c[j] + (q[j] - p[j]) (kk[j] - jj[j]), {j, 1, nn}], 4];
tp = SetPrecision[Table[p[j]  $\times$  c[j] + (q[j] - p[j])  $\times$  d[j], {j, 1, nn}], 4];

ttu =  $\sum_{j=1}^{nn}$  tu[j];

e = Table[(q[j] - p[j])  $\times$  Max[tt[j]], {j, 1, nn}];
f = Max[e];

ttp =  $\sum_{j=1}^{nn}$  tp[j] -  $\sum_{j=1}^{nn}$  e[j] + f;

l = Table[(q[j] - p[j])  $\times$  tt[j, n[j]], {j, 1, nn - 1}];
m = Table[(q[j+1] - p[j+1])  $\times$  tt[j+1, 1], {j, 1, nn - 1}];
s = Table[If[l[j] < m[j], l[j], 0], {j, 1, nn - 1}];

r = Table[If[l[j]  $\geq$  m[j], m[j], 0], {j, 1, nn - 1}];

ttk =  $\sum_{j=1}^{nn}$  tk[j] -  $\left( \sum_{j=1}^{nn-1} s_{[j]} + \sum_{j=1}^{nn-1} r_{[j]} \right)$ ;

Print["REZULTATI:"];
Print["1. Vrednosti TC-a PF-a na karakterističnom putu grafa Ppzc",
    "=", put, " sa N=", nn, " nivoa:"];
Do[Print["N=", j, " PF-a: ", put[j], " Uzastopan: tt(u) = ", tu[j],
    " Kombinovan: tt(k) = ", tk[j], " Paralelan: tt(p) = ", tp[j]], {j, 1, nn}];
Print["2. Vrednosti TC-a SP-a na karakterističnom putu grafa Ppzc",
    "=", put, " sa N=", nn, " nivoa:"];
Print["Paralelni: Ttpzc(p) = ", ttp, " Kombinovani: Ttpzc(k)",
    " = ", ttk, " Uzastopni: Ttpzc(u) = ", ttu];
Clear[put, pzc, nn, q, p, n, nu, t, tt, ttt, a, kk, b, jj, c,
    d, tu, tk, tp, ttu, e, f, ttp, l, m, s, r, ttk]
(*KRAJ PROGRAMA*)

```

### Прилог 5: Програм (PPTCSP) за прорачун технолошких циклуса сложеног производа

```

pc = {3, 6, 7, 9, 10, 11, 12};
zc = {1};
k = Length[pc];
pk = Table[Insert[{pc[[j]], 1, {-1}}, {j, 1, k}];
p1 = {60, 66, 122};
p2 = {57, 73, 202};
p3 = {51, 70, 168};
p4 = {55, 68, 176};
p5 = {56, 91, 224};
p6 = {78, 124, 324};
p7 = {66, 100, 252};
pp = {p1, p2, p3, p4, p5, p6, p7};
a = Table[Max[Table[pp[[j,i]], {j, 1, k}], {i, 1, 3}];
Print["Kritičan put i vrednosti TC-a SP-a:"];
Do[If[a == pp[[j]], Print["P"pk[[j]], " ⇒ {Tt(p), Tt(k), Tt(u)}=", a], 0], {j, 1, k}];
Clear[pc, zc, k, pk, p1, p2, p3, p4, p5, p6, p7, pp, a]

```

### Прилог 6: Програм за дизајнирање структуре SP-a

```

Needs["GraphUtilities`"]

(*PROGRAM ZA CRTANJE I ANALIZU GRAFA TEHNOLOSKE STRUKTURE SLOZENOG PROIZVODA*)
(*ANALIZA TEHNOLOSKIH POSTUPAKA I OZNACAVANJE PROIZVODNIH PROCESA SA
POCETNIM I ZAVRSNIM CVOROVIMA POCEV OD VRHA NA DOLE I SA LEVA NA DESNO*)
(*ULAZNI PODACI*)
(*DEFINISANJE STRUKTURE ORIJENTISANOG, POVEZANOG, RAVANSKOG I TEZINSKOG GRAFA G
TEHNOLOSKE STRUKTURE SLOZENOG PROIZVODA, TIPA DRVO*)
(*DEFINISANJE PODGRAFOVA ol[k], PO NIVOIMA GRAFA, POMOCU ORIJENTISANIH LUKOVA {i,j}
→ i-pocetni cvor luka, j-zavrzni cvor luka*)
ol1 = {{1, 2}};
ol2 = {{2, 3}, {2, 4}, {2, 5}, {2, 6}, {2, 7}};
ol3 = {{3, 8}, {3, 9}, {3, 10}, {4, 11}, {4, 12}};
ol4 = {{8, 13}, {8, 14}, {10, 15}, {10, 16}, {10, 17}};
ol5 = {{15, 18}, {15, 19}};
ol11 = {{1 → 2, "x1"}};
ol22 = {{2 → 3, "x1,1"}, {2 → 4, "x1,2"}, {2 → 5, "x1,3"}, {2 → 6, "x1,4"}, {2 → 7, "x1,5"}};
ol33 =
  {{3 → 8, "x1,1,1"}, {3 → 9, "x1,1,2"}, {3 → 10, "x1,1,3"}, {4 → 11, "x1,2,1"}, {4 → 12, "x1,2,2"}};
ol44 = {{8 → 13, "x1,1,1,1"}, {8 → 14, "x1,1,1,2"}, {10 → 15, "x1,1,3,1"},
  {10 → 16, "x1,1,3,2"}, {10 → 17, "x1,1,3,3"}};
ol55 = {{15 → 18, "x1,1,3,1,1"}, {15 → 19, "x1,1,3,1,2"}};
(*DEFINISANJE POLOZAJA e[k], k=1,m, m=|LL2|=n-1,
ELEMENATA ai,j ≠ 0 U MATRICI A=[ai,j] SUSEDSTVA CVOROVA GRAFA G,
REDA (n,n), ai,j=1 ∀{i,j} ∈ L ∨ ai,j=0 ∀(i,j) ∉ L *)
e[1] = {1, 2} → 1;
e[2] = {2, 3} → 1;
e[3] = {2, 4} → 1;
e[4] = {2, 5} → 1;
e[5] = {2, 6} → 1;
e[6] = {2, 7} → 1;
e[7] = {3, 8} → 1;
e[8] = {3, 9} → 1;

```

$e[9] = \{3, 10\} \rightarrow 1;$   
 $e[10] = \{4, 11\} \rightarrow 1;$   
 $e[11] = \{4, 12\} \rightarrow 1;$   
 $e[12] = \{8, 13\} \rightarrow 1;$   
 $e[13] = \{8, 14\} \rightarrow 1;$   
 $e[14] = \{10, 15\} \rightarrow 1;$   
 $e[15] = \{10, 16\} \rightarrow 1;$   
 $e[16] = \{10, 17\} \rightarrow 1;$   
 $e[17] = \{15, 18\} \rightarrow 1;$   
 $e[18] = \{15, 19\} \rightarrow 1;$   
 (\*OZNACAVANJE ORIJENTISANIH LUKOVA  $l[k]=\{i,j\} \rightarrow l_{i,j}$ ,  
 $k=\overline{1,m}$ , GRAFA G SA POČETNIM (i) I ZAVRSNIM (j) CVOROM\*)  
 $l[1] = \{1, 2\} \rightarrow l_{1,2};$   
 $l[2] = \{2, 3\} \rightarrow l_{2,3};$   
 $l[3] = \{2, 4\} \rightarrow l_{2,4};$   
 $l[4] = \{2, 5\} \rightarrow l_{2,5};$   
 $l[5] = \{2, 6\} \rightarrow l_{2,6};$   
 $l[6] = \{2, 7\} \rightarrow l_{2,7};$   
 $l[7] = \{3, 8\} \rightarrow l_{3,8};$   
 $l[8] = \{3, 9\} \rightarrow l_{3,9};$   
 $l[9] = \{3, 10\} \rightarrow l_{3,10};$   
 $l[10] = \{4, 11\} \rightarrow l_{4,11};$   
 $l[11] = \{4, 12\} \rightarrow l_{4,12};$   
 $l[12] = \{8, 13\} \rightarrow l_{8,13};$   
 $l[13] = \{8, 14\} \rightarrow l_{8,14};$   
 $l[14] = \{10, 15\} \rightarrow l_{10,15};$   
 $l[15] = \{10, 16\} \rightarrow l_{10,16};$   
 $l[16] = \{10, 17\} \rightarrow l_{10,17};$   
 $l[17] = \{15, 18\} \rightarrow l_{15,18};$   
 $l[18] = \{15, 19\} \rightarrow l_{15,19};$   
 (\*OZNACAVANJE ORIJENTISANIH LUKOVA  $a[k]=\{i,j\} \rightarrow x_{i,j,\dots,n}$ ,  
 $k=\overline{1,m}$ , RESPEKTUJUĆI OZNAKU (i) FINALNOG ARTIKLA,  
 NIVEO U GRAFU I DEFINICIJU SUSEDNIH LUKOVA\*)  
 $a[1] = X_1;$   
 $a[2] = X_{1,1};$   
 $a[3] = X_{1,2};$   
 $a[4] = X_{1,3};$   
 $a[5] = X_{1,4};$   
 $a[6] = X_{1,5};$   
 $a[7] = X_{1,1,1};$   
 $a[8] = X_{1,1,2};$   
 $a[9] = X_{1,1,3};$   
 $a[10] = X_{1,2,1};$   
 $a[11] = X_{1,2,2};$   
 $a[12] = X_{1,1,1,1};$   
 $a[13] = X_{1,1,1,2};$   
 $a[14] = X_{1,1,3,1};$   
 $a[15] = X_{1,1,3,2};$   
 $a[16] = X_{1,1,3,3};$   
 $a[17] = X_{1,1,3,1,1};$   
 $a[18] = X_{1,1,3,1,2};$   
 (\*DODELA TEZINSKIH ELEMENATA  $w_{ij}$  LUKOVIMA GRAFA  $\{i,j\}$ , U OPSTEM OBLIKU\*)  
 $f[1] = \{1, 2\} \rightarrow w_{12};$   
 $f[2] = \{2, 3\} \rightarrow w_{23};$   
 $f[3] = \{2, 4\} \rightarrow w_{24};$   
 $f[4] = \{2, 5\} \rightarrow w_{25};$   
 $f[5] = \{2, 6\} \rightarrow w_{26};$   
 $f[6] = \{2, 7\} \rightarrow w_{27};$   
 $f[7] = \{3, 8\} \rightarrow w_{38};$   
 $f[8] = \{3, 9\} \rightarrow w_{39};$   
 $f[9] = \{3, 10\} \rightarrow w_{310};$   
 $f[10] = \{4, 11\} \rightarrow w_{411};$   
 $f[11] = \{4, 12\} \rightarrow w_{412};$



```

f[12] = {8, 13} → w813;
f[13] = {8, 14} → w814;
f[14] = {10, 15} → w1015;
f[15] = {10, 16} → w1016;
f[16] = {10, 17} → w1017;
f[17] = {15, 18} → w1518;
f[18] = {15, 19} → w1519;

(*PROGRAM*)
Print["ETAPNO CRTANJE GRAFA TEHNOLOSKE STRUKTURE SLOZENOG PROIZVODA"];
g1 = TreePlot[ol11, Top, 1, VertexLabeling → True,
  DirectedEdges → True, VertexRenderingFunction →
  ({White, EdgeForm[Black], Disk[#, 0.05], Black, Text[#2, #1]} &),
  EdgeRenderingFunction → ({Arrowheads[0.3], Arrow[#1, 0.05],
  Text[#3, LineScaledCoordinate[#1, 0.55], Background → White]} &)]
Print["Izgled podgrafa g1:"];
Print["g1=", ol1];
g2 = TreePlot[ol11 ∪ ol22, Top, 1,
  VertexLabeling → True, DirectedEdges → True, VertexRenderingFunction →
  ({White, EdgeForm[Black], Disk[#, 0.14], Black, Text[#2, #1]} &),
  EdgeRenderingFunction → ({Arrowheads[0.02], Arrow[#1, 0.13], ,
  Text[#3, LineScaledCoordinate[#1, 0.55], Background → White]} &)]
Print["Izgled podgrafa g2:"];
Print["g2=", ol1 ∪ ol2];
g3 = TreePlot[ol11 ∪ ol22 ∪ ol33, Top, 1,
  VertexLabeling → True, DirectedEdges → True, VertexRenderingFunction →
  ({White, EdgeForm[Black], Disk[#, 0.14], Black, Text[#2, #1]} &),
  EdgeRenderingFunction → ({Arrowheads[0.02], Arrow[#1, 0.13], ,
  Text[#3, LineScaledCoordinate[#1, 0.55], Background → White]} &)]
Print["Izgled podgrafa g3:"];
Print["g3=", ol1 ∪ ol2 ∪ ol3];
g4 = TreePlot[ol11 ∪ ol22 ∪ ol33 ∪ ol44, Top, 1, VertexRenderingFunction →
  ({White, EdgeForm[Black], Disk[#, 0.14], Black, Text[#2, #1]} &),
  EdgeRenderingFunction → ({Arrowheads[0.02], Arrow[#1, 0.13], ,
  Text[#3, LineScaledCoordinate[#1, 0.55], Background → White]} &)]
Print["Izgled podgrafa g4:"];
Print["g4=", ol1 ∪ ol2 ∪ ol3 ∪ ol4];
g5 = TreePlot[ol11 ∪ ol22 ∪ ol33 ∪ ol44 ∪ ol55, Top, 1, VertexRenderingFunction →
  ({White, EdgeForm[Black], Disk[#, 0.14], Black, Text[#2, #1]} &),
  EdgeRenderingFunction → ({Arrowheads[0.02], Arrow[#1, 0.13], ,
  Text[#3, LineScaledCoordinate[#1, 0.55], Background → White]} &)]
Print["Izgled GRAFA G:"];
Print["G=", ol1 ∪ ol2 ∪ ol3 ∪ ol4 ∪ ol5];
L1 = Union[ol1, ol2, ol3, ol4, ol5];
n = Max[L1];
m = n - 1;
v = Table[{i}, {i, 1, n}];
G = {v, L1};
aA = Array[a, m];
G2 = {v, aA};
nizk = Array[e, m];
matA = SparseArray[nizk, {n, n}];
MatrixForm[matA];

b = Table[∑i=1n Table[matA[i, j]], {j, 1, n}];

c = Table[∑j=1n Table[matA[i, j]], {i, 1, n}];

d = Table[Table[∑i=1n Table[matA[i, j]], {j, 1, n}] + Table[∑j=1n Table[matA[i, j]], {i, 1, n}]];

pc = Count[b, 0];
ppc = Position[b, 0];

```

```

sc = Count[c, 0];
psc = Position[c, 0];
zc = pc + sc;
pzc = ppc ∪ psc;
uc = n - zc;
maxc = Max[c];
puc = Complement[v, pzc];
g = Table[Table[matA[[i,j]], {j, 1, n}], {i, 1, n}];
h = -1. g;
x = Table[{i, i} → 1, {i, 1, n}];
y = SparseArray[x, {n, n}];
r = h + y;
s = Drop[r, {}, {1}];
S = MatrixForm[Drop[r, {}, {1}]];
t = Drop[r, 1];
s1 = Drop[t, {}, {1}];
s1 // MatrixForm;
p = Table[If[s[[i,j]] < 0, 0, s[[i,j]]], {i, 1, n}, {j, 1, m}];
P = MatrixForm[p];
q = Drop[p, 1];
p1 = MatrixForm[q];
tp = Transpose[q];
tt = s1.tp;
tt // MatrixForm;
Det[tt];
z = Array[1, m];
matA1 = SparseArray[z, {n, n}];
mA = MatrixForm[matA1];

LL2 = Table[ $\sum_{i=1}^n$  matA[[i,j]], {j, 2, n}];

G1 = {v, LL2};
w = Table[Table[matA[[i,j]], {j, 1, n}], {i, 1, n}];
θ = Table[MatrixPower[w, ω], {ω, 1, n}];
θ1 = θ // MatrixForm;
θθ = Table[θ1[[1,k,1]], {k, 1, n}];
θθ1 = Transpose[θθ] // MatrixForm;

φ = Table[ $\sum_{i=1}^n$  {θθ[[i,j]]}, {j, 1, n}];

φφ = Table[ $\sum_{i=1}^n$  {θθ[[j,i]]}, {j, 1, n}];

μ = Position[φφ, 0] // MatrixForm;
μμ = μ[[1,1,1]] - 1;
ab = Table[Table[θθ1[[1,k,i]], {k, 1, n}], {i, 1, μμ}];
abb = Table[n - Count[ab[[i]], 0], {i, 1, μμ}];

cc = Table[ $\sum_{j=1}^j$  abb[[j]], {j, 1, μμ}];

cD = Table[Table[aa[[i]], {i, 1, cc[[j]]}], {j, 1, μμ}];
cD[[0]] = {};
bbb = Table[Complement[cD[[j]], cD[[j-1]]], {j, 1, μμ}];
yy = psc // MatrixForm;
xxx = Transpose[psc];
xx = Table[xxx[[1,j]], {j, 1, sc}];
minsc = Min[Min[xx]];

φ11 = Table[ $\sum_{i=1}^n$  θθ[[i,j]], {j, 1, n}];

φφ1 = φ11 // MatrixForm;
Δ = Table[Apply[Plus, φ11[[i]]], {i, 1, n}];
ΔΔ = Δ // MatrixForm;
l1 = Table[Δ[[xx[[i]]]], {i, 1, sc}];
φφφ = Table[{φφ1[[1,xx[[i]]]]}, {i, 1, sc}];

```

```

zz = Array[f, m];
matA1 = SparseArray[zz, {n, n}];
mB = MatrixForm[matA1];
α = Table[Table[matA1[[i, j]], {j, 1, n}], {i, 1, n}];
γ = Table[MatrixPower[α, ω], {ω, 1, n}];
γ1 = γ // MatrixForm;
γγ = Table[γ1[[1, k, 1]], {k, 1, n}];
γγ1 = Transpose[γγ] // MatrixForm;

δ11 = Table[Sum[γγ[[i, j]], {j, 1, n}], {i, 1, n}];
ρ = Table[Apply[Plus, δ11[[i]], {i, 1, n}];
zw = Array[f, m];
nizB = SparseArray[zw, {n, n}];

ww = Table[Sum[nizB[[i, j]], {j, 2, n}], {i, 1, n}];

Print[
  "Vektor tezinskih elemenata W orijentisanih lukova L grafa G u opstem obliku:";
Print["W= ", ww];
(*UNOS KONKRETNIH VREDNOSTI TEZINSKIM ELEMENTIMA wij*)
w12 = 2;
w23 = 5;
w24 = 2;
w25 = 3;
w26 = 2;
w27 = 1;
w38 = 2;
w39 = 7;
w310 = 4;
w411 = 10;
w412 = 3;
w813 = 25;
w814 = 5;
w1015 = 4;
w1016 = 17;
w1017 = 7;
w1518 = 26;
w1519 = 3;
(*UNOS PODATAKA ZA KONACAN PRIKAZ GRAFOVA TEHNOLOSKE STRUKTURE*)
TreePlot[{{1 → 2, "l1.2"}, {2 → 3, "l2.3"}, {2 → 4, "l2.4"}, {2 → 5, "l2.5"}, {2 → 6, "l2.6"},
  {2 → 7, "l2.7"}, {3 → 8, "l3.8"}, {3 → 9, "l3.9"}, {3 → 10, "l3.10"}, {4 → 11, "l4.11"},
  {4 → 12, "l4.12"}, {8 → 13, "l8.13"}, {8 → 14, "l8.14"}, {10 → 15, "l10.15"},
  {10 → 16, "l10.16"}, {10 → 17, "l10.17"}, {15 → 18, "l15.18"}, {15 → 19, "l15.19"}},
  Top, 1, DirectedEdges → True, VertexRenderingFunction →
  ({EdgeForm[Black], If[MemberQ[Flatten[puc], #2], Red, Lighter[Blue, 0.9]],
  Disk[#, 0.14], Black, Text[#2, #1]} &),
  EdgeRenderingFunction → ({Arrowheads[0.02], Arrow[#1, 0.13],
  Text[#3, LineScaledCoordinate[#1, 0.55], Background → White]} &)]
Print["KONACAN PRIKAZ ORIJENTISANOG GRAFA G SLOZENOG
  PROIZVODA SA OZNACENIM LUKOVIMA li,j"];
TreePlot[ol11|ol22|ol33|ol44|ol55, Top, 1, DirectedEdges → True,
  VertexRenderingFunction →
  ({EdgeForm[Black], If[MemberQ[Flatten[puc], #2], Red, Lighter[Blue, 0.9]],
  Disk[#, 0.14], Black, Text[#2, #1]} &),
  EdgeRenderingFunction → ({Arrowheads[0.02], Arrow[#1, 0.13],
  Text[#3, LineScaledCoordinate[#1, 0.55], Background → White]} &)]
Print["KONACAN PRIKAZ ORIJENTISANOG GRAFA G SLOZENOG PROIZVODA
  SA OZNACENIM LUKOVIMA xi,j,...,k"];
TreePlot[{{2 → 1, "x1"}, {3 → 2, "x1,1"}, {4 → 2, "x1,2"}, {5 → 2, "x1,3"}, {6 → 2, "x1,4"},
  {7 → 2, "x1,5"}, {8 → 3, "x1,1,1"}, {9 → 3, "x1,1,2"}, {10 → 3, "x1,1,3"}, {11 → 4, "x1,2,1"},
  {12 → 4, "x1,2,2"}, {13 → 8, "x1,1,1,1"}, {14 → 8, "x1,1,1,2"}, {15 → 10, "x1,1,3,1"},
  {16 → 10, "x1,1,3,2"}, {17 → 10, "x1,1,3,3"}, {18 → 15, "x1,1,3,1,1"}, {19 → 15, "x1,1,3,1,2"}},
  Top, 1, DirectedEdges → True, VertexRenderingFunction →
  ({EdgeForm[Black], If[MemberQ[Flatten[puc], #2], Red, Lighter[Blue, 0.9]],
  Disk[#, 0.14], Black, Text[#2, #1]} &),
  EdgeRenderingFunction → ({Arrowheads[0.02], Arrow[#1, 0.13],
  Text[#3, LineScaledCoordinate[#1, 0.55], Background → White]} &)]

```

```

    Disk[# , 0.14], Black, Text[#2, #1]} &),
    EdgeRenderingFunction -> ({Arrowheads[0.02], Arrow[#1, 0.13],
    Text[#3, LineScaledCoordinate[#1, 0.4], Background -> White]} &)]
Print["KONACAN PRIKAZ SUPROTNO ORIJENTISANOG GRAFA G SLOZENOG
    PROIZVODA SA OZNACENIM LUKOVIMA  $x_{i,j,\dots,k}$ "];
TreePlot[ol11|ol22|ol33|ol44|ol55, Top,
    1, DirectedEdges -> False, VertexRenderingFunction ->
    ({EdgeForm[Black], If[MemberQ[Flatten[puc], #2], Red, Lighter[Blue, 0.9]],
    Disk[# , 0.14], Black, Text[#2, #1]} &),
    EdgeRenderingFunction -> ({Arrowheads[0.0], Arrow[#1, 0.0],
    Text[#3, LineScaledCoordinate[#1, 0.55], Background -> White]} &)]
Print["KONACAN PRIKAZ NEORIJENTISANOG GRAFA G SLOZENOG
    PROIZVODA SA OZNACENIM LUKOVIMA  $x_{i,j,\dots,k}$ "];
www = ww;
l11 = Table[ $\rho_{[x_{k1}]}$ , {i, 1, sc}];
tcp = Max[l11];
 $\beta$  = Position[l11, tcp];
 $\beta\beta$  = Flatten[ $\beta$ ];
 $\lambda$  =  $\varphi\varphi$ [ $\beta\beta$ ];
Length[aA];
Length[bbb];
Map[Length, bbb];

(*REZULTATI*)
Print["STRUKTURU GRAFA G SLOZENOG PROIZVODA OPISACEMO, PO
    DEFINICIJI, POMOCU UREDJENOG PARA SKUPA CVOROVA V I SKUPA LUKOVA L:"];
Print["G= (V,L)=", G];
Print["G= (V,L)=", G1];
Print["G= (V,L)=", G2];
Print["Matrica A susedstva cvorova V grafa G ima sledeci oblik:"];
Print["A=", MatrixForm[matA]];
Print["Polustepeni ulazecih lukova  $d^-(u)$ , polustepeni
    izlazecih lukova  $d^+(u)$  i okolina-stepen  $d(u)$  cvorova  $u \in V$  grafa G:"];
Do[Print[" $d^-(v)$ =",  $b_{[v]}$ , " $d^+(v)$ =",  $c_{[v]}$ ,
    " $d(v)$ =",  $d_{[v]}$ ], {v, 1, n}];
Do[If[ $c_{[k]}$  == maxc, Print["Maksimalni raspon R u grafu G definisu polustepeni
    izlazecih lukova u cvoru v=", k, " -> R=",  $c_{[k]}$ ]], {k, 1, n}];
Print["Ukupan broj orijentisanih lukova L u grafu G: m=", m];
Print["Ukupan broj cvorova V u grafu G: n=", n];
Print["Ukupan broj zavrshnih cvorova u grafu G: zc=", zc];
Print["Broj pocetnih cvorova pc i njihova pozicija ppc u grafu G: pc=",
    pc, " ppc=", ppc];
Print["Broj spoljasnjih cvorova sc i njihova pozicija psc u grafu G: sc=",
    sc, " psc=", psc];
Print["Broj unutrasnjih cvorova uc i njihovih pozicija puc u grafu G: uc=",
    uc, " puc=", puc];
Print["Matrica incidencije S, reda (n,m), lukova L grafa G ima sledeci oblik:"];
Print["S=", S];
Print["Submatricu  $S_1$ , reda (n-1,n-1), matrice incidencije lukova S dobicemo tako sto
    u matrici S izostavimo prvi red u kome se nalazi pocetni cvor grafa 1:"];
Print[" $S_1$ =", s1 // MatrixForm];
Print["Matrica incidencije P, reda (
    n,m), ulaznih lukova  $d^-(u)$  grafa G ima sledeci oblik:"];
Print["P=", P];
Print[
    "Submatricu  $P_1$ , reda (n-1,n-1), matrice incidencije ulaznih lukova P, dobicemo tako
    sto iz matrice P izostavimo prvi red u kome se nalazi pocetni cvor grafa 1:"];
Print[" $P_1$ =", p1 // MatrixForm];
Print["Transponovana matrica  $P_1'$  submatrice  $P_1$  ima sledeci oblik:"];
Print[" $P_1'$ =", tp // MatrixForm];
Print["Broj orijentisanih drveta grafa G sa baznim cvorom {1} jednak je determinanti
    proizvoda submatrice  $S_1$  i transponovane matrice  $P_1'$  submatrice  $P_1$ :"];

```

```

Print["detS1P1'=", Det[tt]];
Print["Polazna matrica orijentisanih lukova li,j u grafu G:"];
Print["L=", mA];
Print["Matrica Ω puteva P1,v i nivoa N u grafu G:"];
Print["Ω=", θθ1];
Print["Matrica puteva P1,v (redovi u matrici Ω) od 1. cvora do svih ostalih vεV:"];
Do[Print["v=", i, " → ", φ[i]], {i, 1, n}];
Print["Ukupan broj nivoa N u grafu G: N=", μμ];
Print["Nivoi grafa N, od 1. do ", μμ,
"-tog (kolone u matrici Ω), opisani skupom puteva koji su definisani
pocetnim i završnim cvorovima koji se nalaze na tom nivou:"];
Do[Print["ng=", i, " → ", φφ[i]], {i, 1, μμ}];
Print["Matrica kolona lukova li,j potrebna za definisanje svih
puteva P1,v od 1. cvora do ostalih cvorova u grafu G, P1,v= ", n];
Print["P1,v= ", φφ1];
Print["Pozicije spoljasnjih cvorova (j) grafa G za
definisanje karakteristiknih puteva Γ1,j i dužina Ψ1,j, j=", sc];
Print["xx= ", xx];
Print["Karakteristicni putevi Γ1,j od pocetnog (
1) cvora do ostalih spoljasnjih cvorova (j) u grafu G:"];
ττ = Do[If[xx[k] == j, Print["Γ"1,j, " = ", φφ1[1,j]]], {j, 1, n}, {k, 1, sc}];
Print["Dužine Ψ1,j karakteristiknih puteva Γ1,j u grafu G:"];
τττ = Do[If[xx[k] == j, Print["Ψ"1,j, " = ", Δ[j]]], {j, 1, n}, {k, 1, sc}];
Print["Vektor zadatih tezinskih elemenata W orijentisanih lukova L grafa G:"];
Print["W= ", www];
Print["Dužine karakteristiknih puteva P1,sc od 1. do svih spoljasnjih
cvorova u grafu G prikazane u analitickom i vektorskom obliku:"];
ττττ = Do[If[xx[k] == j, Print["ϕ"1,j, " = ", ρ[j]]], {j, 1, n}, {k, 1, sc}];
Print["P1,sc= ", lll];
Print["Ciklus proizvodnje TCP slozenog proizvoda koji je
opisan orijentisanim, povezanim, tezinskim i ravanskim grafom G:"];
Print["TCP=max{P1,sc, scε", xx, "}=max", lll];
Print["TCP=", tcp];
Print["Proizvodni ciklus definisu sledeci kritični putevi (put) u grafu G:"];
Print["Tkritično=", λ];
Print["Skup svih orijentisanih lukova xi,j,k,...,n u grafu G: X=", aA];
Print["Ukupan broj nivoa N u grafu G: N=", μμ];
Print["Skup svih orijentisanih lukova
xi,j,k,...,n grupisanih po nivoima u grafu G: X=", bbb];
Print["Broj orijentisanih lukova xi,j,k,...,n zastupljenih po nivoima grafa G: L=", abb];
Clear[ol1, ol2, ol3, ol4, ol5, ol11, ol22, ol33, ol44, ol55, g1, g2, g3, g
4, g5, w12, w23, w24, w25, w26, w27, w38, w39, w310, w411, w412, w813, w814, w
1015, w1016, w1017, w1518, w1519, n, v, m, L1, LL2, nizk, G, G1, G2, e, b, c, d,
pc, ppc, sc, psc, zc, pzc, uc, puc, g, h, x, y, r, t, q, p, s1, p1, tp, tt, l, z,
w, θ, θ1, θθ, θθ1, φ, φφ, yy, xx, xx, φ11, φφ1, ττ, Δ, ΔΔ, τττ, ττττ, ll, lll,
tcp, β, φφφ, ww, e, matA, maxc, mA, μ, μμ, minsc, f, zz, matA1, mB, α, γ, γ1,
γγ, γγ1, δ11, ρ, ββ, λ, a, S, P, zw, nizB, www, aA, aAA, ab, abb, cc, cD, bbb];

```

## Прилог 07: Расходи Компаније "Слобода" – Чачак за 2009.-ту годину

Конт	Опис	Остварено 2009
50100	Набавна вредност пр.робе	7.850.705
50100/k	Набавна вредност пр.робе-Прод Кружни пут	0
<b>501</b>	<b>Набавна вредност пр.робе</b>	<b>7.850.708</b>
<b>50</b>	<b>Набавна вредност пр.робе</b>	<b>7.850.708</b>
51100/1	Кухиња по требовању	2.860.069
51100	Кухиња по тр./Ремонт	0
51100/2	Кафе сала	549.607
<b>51101</b>	<b>Основни материјал</b>	<b>418.605.019</b>
51102	Помоћни материјал	35.162.905
51104/1	Трошкови инвентара	5.263.190
51104	Трошкови инвентара-који се	32.262.234
51105	Полупроизв.и делови	551.092
51106	Пробе и испитивања	3.962.567
51108	Остали матер.за израду	606.896
<b>511</b>	<b>Тр.материјал за израду</b>	<b>499.823.579</b>
51201	Трош.осталог материјала	1.391.289
51202	Трошк.р.д.за одрж.ос.средс.	644.329
51205	Трошк.ауто гума и амб.	188.908
51206	Остали мат.реж./канцелар/	3.447.277
51207	Заштитна одећа и обућа	396.676
51208	Остали материјал	58.005
<b>512</b>	<b>Трошкови мат. за израду</b>	<b>6.126.484</b>
51301	Електрична енергија	23.995.820
51302	Пара	147.861
51303	Мазут и угљ	68.008.493
51304	Бензин	6.169.264
51305	Гас	5.489.110
<b>513</b>	<b>Трошкови г. и енергије</b>	<b>103.810.548</b>
<b>51</b>	<b>Трошкови материјала</b>	<b>609.760.611</b>
52001	Трошкови зарада -нето	586.004.990
52002	Порез на т.рад.	87.631.364
52003	Доприноси на т.радника	146.728.563
<b>520</b>	<b>БРУТО ЗАРАДЕ</b>	<b>820.364.917</b>
52101	Допр.за ПИО на т.посл.	90.168.391
52102	Допр.за ЗДР. О. на т.посл.	50.412.327
52103	Допр.за НЕЗАП. на т.посл.	6.147.845
52105	Допринос за БЕНЕФ. р.стаж	12.186.476
<b>521</b>	<b>Трош. доп. на т. посл.</b>	<b>158.915.039</b>
52409	Трош.накан. по угов.о делу	2.420.066
<b>524</b>	<b>Трош.на. по угов.о делу</b>	<b>2.420.066</b>
52609	Трош.на. члановима УО	4.359.641
<b>526</b>	<b>Трош.на. члановима УО</b>	<b>4.359.641</b>
52901	Остали л.р.-дневнице	2.960.577
52902	О. л.р.-днев. у иностранству	6.814.314
52903	Зубиларне награде	3.088.500
52904	Помоћ зал.у породици	1.353.350
52905	Остали л.расх.-кор.соп.аута	3.500
52906	Трошкови превоза	21.413.034
52907	Отпремнине-соц.програма	
52908	Отп.-редовни одл.у пензију	730.254
52909	Пакетићи -Н.Година	0
52910	Помоћ другим лицима	110.243
52911	Трошкови стипендија	723.870
52912	Солидарна помоћ	0
<b>529</b>	<b>Остали л.расходи</b>	<b>37.197.643</b>
<b>52</b>	<b>Тр.зар.,накн,зарада и остали лични расходи</b>	<b>1.023.257.306</b>

Конт	Опис	Остварено 2009
53101	Тр.транспортних услуга	17.542.485
53103	Тр.ПТТ услуга-телефон	2.308.546
53104	Трошкови поштарина	199.482
<b>531</b>	<b>Тр.транспортних услуга</b>	<b>20.050.513</b>
<b>532</b>	<b>Трошкови усл.одржавања</b>	<b>18.442.482</b>
<b>533</b>	<b>Трошкови закупа</b>	<b>5.000</b>
<b>535</b>	<b>Тр. рекл.проп.и сајмови</b>	<b>2.759.740</b>
53902	Комуналне услуге	811.724
53907	Службене новине и часописи	419.163
53908	Утрошена вода	27.905.252
53910	Тр.ост.пр.услуга	11.476.070
<b>539</b>	<b>Тр.осталих пр.услуга</b>	<b>40.612.209</b>
<b>53</b>	<b>Тр.производних услуга</b>	<b>81.869.944</b>
<b>540</b>	<b>Тр.амортизације</b>	<b>118.707.622</b>
55002	Тр.адвокатских услуга	102.750
55003	Тр.здравствених услуга	178.598
55005	Тр.стручног усавршавања	470.273
55009	Тр.непроизводних услуга	25.971.284
<b>550</b>	<b>Тр.непроизводних услуга</b>	<b>26.722.905</b>
<b>551</b>	<b>Тр.репрезентације</b>	<b>5.030.439</b>
<b>552</b>	<b>Тр.премија осигурања</b>	<b>3.072.799</b>
55301	Банкарске услуге	19.024.574
55302	Тр.платног промета	1.127.208
<b>553</b>	<b>Тр.платног промета</b>	<b>20.151.781</b>
<b>554</b>	<b>Трошкови чланарина</b>	<b>4.199.861</b>
55500	Тр.пореза по решењу	0
55501	Тр.пореза-земљиште	3.637.510
55502	Тр.пореза-заштита шума	
55503	Трошкови регистр.возила	247.245
55504	Накнада за коришћење вода	221.817
55505	Тр.пореза-грађ. земљиште	4.362.469
55509	Трошкови пореза	0
55590	Остали порези	0
<b>555</b>	<b>Трошкови пореза</b>	<b>8.469.041</b>
55904	Таксе	1.752.778
<b>559</b>	<b>Остали нематеријални трошкови</b>	<b>1.752.778</b>
<b>55</b>	<b>Нематеријални трошкови</b>	<b>69.399.605</b>
<b>55+53</b>	<b>Нем.тр.и произв.услуге</b>	<b>151.269.549</b>
<b>УКУПНО ПОСЛОВНИ РАСХОДИ</b>		<b>1.910.845.795</b>
562	Расходи камата	41.522.408
563	Негат.курсне разлике	57.688.267
564	Р.по осн.еф.валутне кл.	
<b>56</b>	<b>ФИНАНСИЈСКИ РАСХОДИ</b>	<b>99.210.675</b>
<b>57</b>	<b>ОСТАЛИ РАСХОДИ</b>	<b>54.142.303</b>
<b>58</b>	<b>Р.по основу обезвр.имов.</b>	<b>0</b>
<b>59</b>	<b>Губ. посл.који се обуст.</b>	<b>0</b>
<b>УКУПНИ РАСХОДИ</b>		<b>2.064.198.773</b>
<b>I</b>	<b>НЧ у готовим производима</b>	<b>1.248.995</b>
<b>II</b>	<b>НЧ у недовршеној произв.</b>	<b>177.373</b>
<b>I+II</b>	<b>УКУПНО</b>	<b>1.426.368</b>
	Плаћени НЧ	1.576.863

## Прилог 08: Преглед бруто зарада по радним јединицама

## PREGLED BRUTO ISPLATA PO RJ

RADNA JEDINICA	PROIZVODNJA	%	REZIJA	%
1010 PRAVNI I KADROVSKI POSLOVI	0.00	0	533283.04	100
1050 OPSTI POSLOVI	0.00	0	2724158.28	100
1060 UGOSTITELJSTVO	0.00	0	686874.01	100
1070 SPORTSKO REKREATIVNI CENTAR	0.00	0	298954.32	100
1120 OBRADA DEFORMISANJEM	5810872.51	81	1405732.56	19
1160 OBRADA REZANJEM	12509812.08	80	3046663.65	20
1170 ZASTITA	3373339.80	82	754692.76	18
1180 PIROTEHNIKA	15501216.89	88	2157657.76	12
1210 STOLARNICA	4384720.77	81	1033060.85	19
1240 ALATNICA	2698091.98	73	975843.62	27
1250 KOVACNICA I PLASTIKARA	472266.50	47	538279.85	53
1300 PLANIRANJE I TEHNICKA PRIPREMA	0.00	0	2318049.62	100
1400 TEHNICKA PRIPREMA	0.00	0	689598.49	100
1410 ODRZAVANJE	0.00	0	2928801.24	100
1420 ENERGETIKA	0.00	0	2112791.73	100
1430 ELEKTRO ODRZAVANJE	0.00	0	1698542.23	100
1620 LABORATORIJA I ULAZNA KONTROLA	0.00	0	1397462.24	100
1630 TEHNOLOGIJA KVALITETA I KONTR.	3238367.05	61	2086512.33	39
1650 METROLOSKA LAB. I PRECIZNA	0.00	0	896345.55	100
1660 ZAVRSNA I PREDAJNA KONTROLA	0.00	0	3197793.85	100
1710 KONSTRUKCIJA PROIZVODA	0.00	0	3630800.15	100
1720 TEHNOLOGIJA PROIZVODA	0.00	0	1713738.99	100
1730 INZENJERING I INVESTICIJE	0.00	0	500548.37	100
1740 BEZBEDNOST I ZDRAVLJE NA RADU	0.00	0	483137.80	100
1800 MARKETING	0.00	0	1721161.03	100
1810 FINANSIJE I RACUNOVODSTVO	0.00	0	1243479.97	100
1820 SKLADISNA SLUZBA	0.00	0	1531581.60	100
1900 KABINET GENERALNOG DIREKTORA	0.00	0	244864.11	100
1910 EKONOMIKA, ORGANIZAC. I	0.00	0	499456.15	100
1840 UGOVORENE ZARADE	0.00	0	7100876.57	100
	47988687.58	49	50150742.72	51

## Прилог 09: Програм за прорачун оптималне серије

(\*PROGRAM ZA PRORAČUN OPTIMALNE SERIJE\*)

(\*ULAZNI PODACI\*)

c = 2064198773; (\*ukupni rashodi PPS-a\*)  
 a = 7850708; (\*vrednost konta 501\*)  
 b = 418605019; (\*vrednost konta 51101\*)  
 NC = 1426368; (\*ukupan ostvaren obim proizvodnje,  
 u gotovim proizvodima i nedovršenoj proizvodnji, u nč/god\*)  
 TR = 820364917; (\*ukupna vrednost bruto zarada svih  
 radnika zaposlenih u preduzeću. Konto 520\*)  
 Kr = 0.49; (\*koeficijent koji uzima u obzir % zastupljenosti bruto zarada  
 proizvodnih radnika u ukupnoj vrednosti bruto zarada svih radnika\*)  
 Kov = 0.2; (\*koeficijent koji uzima u obzir % zastupljenosti  
 varijabilnih troškova u ukupnim ostalim troškovima\*)  
 Koc = 0.8; (\*koeficijent koji uzima u obzir % zastupljenosti  
 fiksnih troškova u ukupnim ostalim troškovima\*)  
 Tpz = 995.5; (\*ukupno pripremno-završno vreme na nivou proizvoda, u nč\*)  
 X = 420000; (\*ugovorena količina složenog proizvoda, u kom\*)  
 Wm = 493.12; (\*jedinичna cena materijala složenog proizvoda, u din/kom\*)  
 tk = 1.3923; (\*vreme po komadu, u nč/kom\*)  
 T = 455; (\*ugovoren rok isporuke, u kalendarskim danima\*)  
 Te = 365; (\*obračunski period od jedne godine, u kalendarskim danima\*)

(\*PROGRAM\*)

Tm = a + b;

$$vnc = N \left[ \frac{c - Tm}{NC} \right];$$

$$Vr = \frac{TR}{NC} \times Kr;$$

$$To = c - (Tm + TR \times Kr);$$

$$Vov = \frac{To}{NC} \times Kov;$$

$$Voc = \frac{To}{NC} \times Koc;$$

$$xopt = \sqrt{\frac{2 \times Tpz \times Voc \times X}{(Wm + tk \times (Vr + Vov)) \times \frac{T}{Te}}};$$

$$brn = \frac{X}{xopt};$$

n = Round[brn];

$$x_0 = Ceiling \left[ \frac{X}{n} \right];$$

(\*PROGRAM ZA CRTANJE ODGOVARAJUĆIH FUNKCIJA\*)

$$y1 = FullSimplify \left[ N \left[ \frac{X}{x} \times (Tpz \times Voc + tk \times Voc \times x) \right] \right];$$

$$y2 = FullSimplify \left[ N \left[ \frac{T}{2 \times Te} \times \left( Wm + tk \times (Vr + Vov) + \frac{Tpz \times (Vr + Vov)}{x} \right) \times x \right] \right];$$

y = y1 + y2;

granica = 1.02 X;

konacno = y /. x -> x\_0;

optimtacka = {{x\_0, konacno}};

tacka = ListPlot[optimtacka, PlotStyle -> {Black, PointSize[Medium]}];

aa = Plot[{y1, y2, y}, {x, 0, X}, PlotRange -> {{0, granica}, Automatic},

AxisOrigin -> {0, 0}, PlotStyle -> {Green, Blue, Red}, AxesLabel -> {"x", "troskovi"}];



```

bb = ListLinePlot[{{x0, 0}, {x0, konacno}}, AxesOrigin -> {0, 0},
  AxesLabel -> {"x", "troskovi"}, PlotStyle -> {Thickness[Tiny], Dashed, Black}];
cc = ListLinePlot[{{X, 0}, {X, c}}, AxesOrigin -> {0, 0},
  AxesLabel -> {"x", "troskovi"}, PlotStyle -> {Thickness[Tiny], Dashed, Black}];
funkcija = Plot[y, {x, 0, X}, PlotStyle -> {Red}, PlotRange -> {{0, granica}, Automatic},
  AxesOrigin -> {0, 0}, AxesLabel -> {"x", "troskovi"}];
s1 = 0.4 x0;
dd = ListLinePlot[{{s1, 0}, {s1, c}}, PlotStyle -> {Thickness[Tiny], Dashed, Orange}];
s2 = 1.6 x0;
ee = ListLinePlot[{{s2, 0}, {s2, c}}, PlotStyle -> {Thickness[Tiny], Dashed, Orange}];

(*REZULTATI*)
Print["PODACI POTREBNI ZA PRORAČUN OPTIMALNE SERIJE:"]
Print["1. Ukupni troškovi direktnog materijala: Tm = ", Tm, " din/god"]
Print["2. Prosečna vrednost svih troškova PPS-a, osim troškova direktnog
  materijala, po norma času realizovane proizvodnje: VNČ = ", vnc, " din/nč"]
Print["3. Prosečna vrednost zarada proizvodnih radnika po norma
  času ostvarene proizvodnje: Vr = ", Vr, " din/nč"]
Print["4. Prosečna vrednost ostalih varijabilnih troškova po
  norma času ostvarene proizvodnje: Vov = ", Vov, " din/nč"]
Print["5. Prosečna vrednost ostalih fiksnih troškova po norma
  času ostvarene proizvodnje: Voc = ", Voc, " din/nč"]
Print["VREDNOST OPTIMALNE SERIJE I BROJA POTREBNIH SERIJA, PO PRORAČUNU:"]
Print["1. Optimalna vrednost proizvodne serije po proračunu: x0 (proracun) = ",
  xopt, " kom/seriji"]
Print["2. Ukupan broj proizvodnih serija potrebnih za izvršenje
  porudžbine, po proračunu: N (proracun) = ", brn, " ser"]
Print["KONAČNA VREDNOST OPTIMALNE SERIJE I BROJA POTREBNIH SERIJA:"]
Print["1. Optimalna vrednost proizvodne serije: x0 = ", x0, " kom/seriji"]
Print["2. Ukupan broj proizvodnih serija potrebnih za izvršenje porudžbine: N = ",
  n, " ser"]
Print["PODACI ZA CRTANJE GRAFIKA FUNKCIJA F1(x), F2(x) I F(x)"]
Print["Analitički zapis funkcija F1(x), F2(x), F(x) po porudžbini X:""]
Print["1. Funkcija ukupnih fiksnih troškova: F1(x) = ", y1]
Print["2. Funkcija ukupnih promenljivih troškova: F2(x) = ", y2]
Print["3. Funkcija ukupnih troškova: F(x) = ", y]
Print["GRAFIČKI PRIKAZ FUNKCIJA F1(x), F2(x), F(x) I OPTIMALNE VELIČINE SERIJE:"]
Show[aa, bb, cc, tacka]
Print["Slika 1: Izgled funkcija F1(x), F2
  (x) i F(x) sa prikazom optimalne velicine serije x0 = ",
  x0, " [kom/ser] i ugovorene kolicine X = ", X, " [kom]"]
Show[{aa, bb, tacka}, PlotRange -> {{0, 2 x0}, Automatic},
  AxesOrigin -> {0, 0}, AxesLabel -> {"x", "troskovi"}]
Print["Slika 2: Osetljivost optimalne velicine serije u opsegu x ∈ [0, 2x0]"]
Show[{funkcija, bb, tacka}, PlotRange -> {{0, 2 x0}, Automatic},
  AxesOrigin -> {0, 0}, AxesLabel -> {"x", "troskovi"}]
Print["Slika 3: Osetljivost optimalne velicine serije
  u opsegu x ∈ [0, 2x0]. Prikaz samo funkcije F(x)"]
Show[{aa, bb, dd, ee, tacka}, PlotRange -> {{0, 2 x0}, Automatic}]
Print["Slika 4: Osetljivost optimalne velicine serije u opsegu ±60%"]
(*KRAJ PROGRAMA*)

```

**Прилог 10:** Програм за пројектовање *PC*-а, фино терминирање производње и израчунавање коефицијента протока

```
(*PROGRAM ZA PROJEKTOVANJE PROIZVODNIH CIKLUSA I IZRAČUNAVANJE KOEFICIJENTA PROTOKA*)
(*ULAZNI PODACI: Čanče-176475007, q, n, ti | i=1, n, VREMENA UNETI U cmh/kom*)
pf = čanče;
q = 30000;
n = 22;
t[n - n] = 0;
t[n + 1] = 0;
t[1] = 6;
t[2] = 40;
t[3] = 8;
t[4] = 133.93;
t[5] = 8;
t[6] = 40;
t[7] = 8;
t[8] = 174.42;
t[9] = 8;
t[10] = 40;
t[11] = 8;
t[12] = 174.42;
t[13] = 174.42;
t[14] = 300;
t[15] = 8;
t[16] = 50;
t[17] = 91.46;
t[18] = 40;
t[19] = 91.46;
t[20] = 30;
t[21] = 91.46;
t[22] = 2;
(*ULAZNI PODACI KOJI DEFINIŠU POSTOJEĆI NAČIN ORGANIZACIJE PROIZVODNJE U PPS-u: Cs,
Sd, Dk, Dr*)
cs = 7.5;
sd = 1.3;
dk = 365;
dr = 257;
(*ULAZNI PARAMETRI KOJI UTIČU NA PLANIRANO
VREME TRAJANJA TEHNOLOŠKIH OPERACIJA τi : μi, pi, Sdi, ri*)
(*PLANIRANO KORIŠĆENJE PROIZVODNIH KAPACITETA PO TEHNOLOŠKIM OPERACIJAMA μi*)
μ[1] = 0.820;
μ[2] = 0.765;
μ[3] = 0.820;
μ[4] = 0.775;
μ[5] = 0.820;
μ[6] = 0.765;
μ[7] = 0.820;
μ[8] = 0.750;
μ[9] = 0.820;
μ[10] = 0.665;
μ[11] = 0.820;
μ[12] = 0.825;
μ[13] = 0.935;
μ[14] = 0.650;
μ[15] = 0.820;
μ[16] = 0.820;
```

$\mu[17] = 0.820;$

$\mu[18] = 0.695;$

$\mu[19] = 0.820;$

$\mu[20] = 0.755;$

$\mu[21] = 0.820;$

$\mu[22] = 0.820;$

(\*PLANIRANO IZVRŠENJE NORME PO TEHNOLOŠKIM OPERACIJAMA  $p_i$  \*)

$p[1] = 1.10;$

$p[2] = 1.02;$

$p[3] = 1.08;$

$p[4] = 1.04;$

$p[5] = 1.13;$

$p[6] = 1.02;$

$p[7] = 1.10;$

$p[8] = 1.10;$

$p[9] = 1.09;$

$p[10] = 1.06;$

$p[11] = 1.09;$

$p[12] = 1.05;$

$p[13] = 1.03;$

$p[14] = 1.05;$

$p[15] = 1.13;$

$p[16] = 1.15;$

$p[17] = 1.12;$

$p[18] = 1.10;$

$p[19] = 1.18;$

$p[20] = 1.07;$

$p[21] = 1.13;$

$p[22] = 1.18;$

(\*PLANIRAN BROJ RADNIH SMENA,

PO TEHNOLOŠKIM OPERACIJAMA, U DANU  $S_{d_i}$  - PRVA VARIJANTA\*)

$s[1] = 1;$

$s[2] = 2;$

$s[3] = 1;$

$s[4] = 2;$

$s[5] = 1;$

$s[6] = 2;$

$s[7] = 1;$

$s[8] = 2;$

$s[9] = 1;$

$s[10] = 2;$

$s[11] = 1;$

$s[12] = 2;$

$s[13] = 2;$

$s[14] = 2;$

$s[15] = 1;$

$s[16] = 2;$

$s[17] = 1;$

$s[18] = 2;$

$s[19] = 2;$

$s[20] = 1;$

$s[21] = 1;$

$s[22] = 1;$

(\*PLANIRAN BROJ RADNIH MESTA PO TEHNOLOŠKIM OPERACIJAMA  $r_i$  - PRVA VARIJANTA\*)

$r[1] = 1;$

$r[2] = 2;$

$r[3] = 1;$

$r[4] = 3;$

```

r[5] = 1;
r[6] = 2;
r[7] = 1;
r[8] = 4;
r[9] = 1;
r[10] = 2;
r[11] = 1;
r[12] = 4;
r[13] = 4;
r[14] = 6;
r[15] = 1;
r[16] = 2;
r[17] = 3;
r[18] = 2;
r[19] = 2;
r[20] = 1;
r[21] = 3;
r[22] = 1;

(*PROGRAM*)
tt = Array[t, n + 2, 0];
λ = Table[tt[[i]], {i, 2, n + 1}];
qsm = Round[Table[ $\frac{750000}{\lambda[[i]]}$ , {i, 1, n}]];
a = Table[If[tt[[k-1]] < tt[[k]] ∧ tt[[k]] ≥ tt[[k+1]], tt[[k]], 0], {k, 2, n + 1}];
k =  $\sum_{i=1}^n a[[i]]$ ;
b = Table[If[tt[[j-1]] ≥ tt[[j]] ∧ tt[[j]] < tt[[j+1]], tt[[j]], 0], {j, 3, n}];
j =  $\sum_{i=1}^{n-2} b[[i]]$ ;
c =  $\sum_{i=2}^{n+1} tt[[i]]$ ;
d = Max[tt];
δ =  $\frac{dk}{dr}$ ;
h =  $\frac{cs \times sd}{\delta}$ ;
tu = SetPrecision[ $\frac{q \times c}{100000 h}$ , 7];
tk = SetPrecision[ $\frac{c + (q - 1)(k - j)}{100000 h}$ , 7];
tp = SetPrecision[ $\frac{c + (q - 1)d}{100000 h}$ , 7];
μ = Array[μ, n];
p = Array[p, n];
s = Array[s, n];
r = Array[r, n];
τ = SetPrecision[Table[ $\frac{q \times \delta}{qsm[[i]] p[[i]] s[[i]] \mu[[i]] r[[i]]}$ , {i, 1, n}], 7];
x = Table[If[τ[[k-1]] < τ[[k]], τ[[k]] - τ[[k-1]], 0], {k, 2, n}];
yx = SetPrecision[ $\sum_{i=1}^{n-1} x[[i]]$ , 7];
po = Table[If[x[[k]] > 0, k + 1, 0], {k, 1, n - 1}];
v = Table[i, {i, 1, n}];
g = po ∩ v;

```

```

m = Length[g];
f = Complement[v, g];
λ1 = Table[ $\frac{\lambda_{[i]}}{\mu_{[i]}}$ , {i, 1, n}];
tt1 = Table[If[1 ≤ j ≤ n, λ1[[j]], 0], {j, 0, n+1}];
a1 = Table[If[tt1[[k-1]] < tt1[[k]] ∧ tt1[[k]] ≥ tt1[[k+1]], tt1[[k]], 0], {k, 2, n+1}];
k1 =  $\sum_{i=1}^n a1_{[i]}$ ;
c1 =  $\sum_{i=2}^{n+1} tt1_{[i]}$ ;
b1 = Table[If[tt1[[j-1]] ≥ tt1[[j]] ∧ tt1[[j]] < tt1[[j+1]], tt1[[j]], 0], {j, 3, n}];
j1 =  $\sum_{i=1}^{n-2} b1_{[i]}$ ;
tc = SetPrecision[ $\frac{c1 + (q-1)(k1 - j1)}{100000h}$ , 7];
gc = tc - tk;
gcp = Ceiling[gc];
Δτ = SetPrecision[ $\frac{tk + gcp - \tau_{[1]} - yx}{n-1}$ , 7];
tcp1 = SetPrecision[τ[[1]] + (n-1) Δτ + yx, 7];
tcp = Ceiling[tcp1];
x1 = Table[If[1 ≤ j ≤ n, x[[j]], 0], {j, 0, n-1}];
yx1 = Table[ $\sum_{k=1}^i x1_{[k]}$ , {i, 1, n}];
zz = Table[τ[[1]] + (i-1) Δτ + yx1[[i]], {i, 1, n}];
pp = Table[zz[[i]] - τ[[i]], {i, 1, n}];
zz[[0]] = 0;
Δr = Table[pp[[i]] - zz[[i-1]], {i, 1, n}];
rr =  $\sum_{i=1}^n \Delta r_{[i]}$ ;
zz1 = Table[zz[[i]], {i, 1, n}];
θ =  $\sum_{i=1}^n \tau_{[i]}$ ;
tcp2 = θ + rr;
tcs = {80, 141, 171, 200, 195, 114, 127, 104, 78, 89, 93, 109, 128};
kt = Table[ $\frac{tcs_{[i]}}{tk}$ , {i, 1, 13}];
tcs1 = {71, 61};
kt1 = Table[ $\frac{tcs1_{[i]}}{tk}$ , {i, 1, 2}];
kp = Table[ $\frac{tcs1_{[i]}}{tcp1}$ , {i, 1, 2}];

```

(\*REZULTATI KOJI SE ODOSE NA IDENTIFIKACIJU

DELA I VREDNOSTI TEHNOLOŠKOG CIKLUSA:  $T_c^{(u)}, T_c^{(k)}, T_c^{(p)}$  \*)

Print["REZULTATI- PRVA VARIJANTA- KOMPLETAN PRORAČUN"];

Print["PROIZVODNA FAZA- DEO: ", pf,

" Količina: q=", q, " Boj tehnoloških operacija: n=", n];

Print["Vremena po operacijama: t=", λ, "(cmh/kom)"];

Print["Kapacitet u smeni po operacijama: q<sub>s</sub>=", qsm, "(kom/sm)"];

Print["PARAMETRI ZA IZRAČUNAVANJE TEHNOLOŠKOG CIKLUSA (cmh):"];

Print[" $\sum_i t_i$ =", c, " max $t_i$ =", d, "  $\sum_k t_k$ =", k, "  $\sum_j t_j$ =", j];

Print["VREDNOSTI TEHNOLOŠKIH CIKLUSA (kal. dani);"];

```

Print["UZASTOPNI:  $T_t^{(u)}$  = ", tu, ", KOMBINOVANI:  $T_t^{(k)}$  = ", tk, ", PARALELNI:  $T_t^{(p)}$  = ", tp];
Print["PRIBLI\ [CapitalZHacek] NE VREDNOSTI I ODNOSI IZMEĐU TEHNOLOŠKIH CIKLUSA:"];
If[tp == tk,
  Print[" $T_t^{(p)}$  = ", Ceiling[tp], " =  $T_t^{(k)}$  = ", Ceiling[tk], " <  $T_t^{(u)}$  = ", Ceiling[tu]],
  Print[" $T_t^{(p)}$  ≅ ", Ceiling[tp], " <  $T_t^{(k)}$  ≅ ", Ceiling[tk], " <  $T_t^{(u)}$  ≅ ", Ceiling[tu]]]

(*IZLAZNI REZULTATI KOJI SE ODOSE NA PROJEKTOVANE VREDNOSTI CIKLUSA PROIZVODNJE*)
Print["PARAMETRI ZA PROJEKTOVANJE CIKLUSA  $T_{CP}$ :"];
Print["PLANIRANO VREME PROIZVODNJE PO TEHN. OPERACIJAMA:  $\tau_i$  = ",  $\tau$ , " (kal. dani)"];
Print["BROJ p-OPERACIJA ( $\tau_i > \tau_{i-1}$ ,  $\forall i=2, \bar{n}$ ): m = ",
  m, ", I NJIHOVA POZICIJA U TEHN. POSTUPKU: g = ", g];
Print["VREDNOST  $\sum_{p=1}^m (\tau_p - \tau_{p-1})$  = ", yx];
Print[
  "Vremena po operacijama korigovana planiranim korišćenjem kapaciteta  $\mu_i$ :  $t_{ikor}$  = ",
   $\lambda 1$ , " (cmh/kom)"];
Print["UKUPNI PROJEKTOVANI GUBICI U CIKLUSU:  $G_{cp}$  = ", gcp, " (kal. dana)"];
Print["PROJEKTOVAN PARCIJALNI GUBITAK IZMEĐU TEHN. OPERACIJA:  $\Delta\tau$  = ",
   $\Delta\tau$ , " (kal. dana)"];
Print["PROJEKTOVANO TRAJANJE PROIZVODNOG CIKLUSA:  $T_{CP}$  = ",
  tcp1, ", ODNOSNO:  $T_{CP} \cong$  ", tcp, " (kal. dana)"];
Print["NAJKASNIJI POČECI PROIZVODNJE PO TEHNOLOŠKIM OPERACIJAMA:  $P_i$  = ",
  pp, " (kal. dana)"];
Print["NAJKASNIJI ZAVRŠECI PROIZVODNJE PO TEHNOLOŠKIM OPERACIJAMA:  $Z_i$  = ",
  zz1, " (kal. dana)"];
Print["VREMENSKE REZERVE IZMEĐU SUSEDNIH TEHNOLOŠKIH OPERACIJA:  $\Delta r_i$  = ",
   $\Delta r$ , " (kal. dana)"];
Print["UKUPNA VREMENSKA REZERVA IZMEĐU SUSEDNIH TEHNOLOŠKIH OPERACIJA: R = ",
  rr, " (kal. dana)"];
Print["UKUPNO PLANIRANO VREME POTREBNO ZA IZRADU SVIH OPERACIJA: T = ",
   $\theta$ , " (kal. dana)"];
Print["PROJEKTOVANO TRAJANJE PROIZVODNOG CIKLUSA:  $T_{CP} = T + R$  = ", tcp2, " (kal. dana)"];
Print["KOEFIČIJENT PROTOKA- ODNOS STVARNE I TEHN. DУ\ [CapitalZHacek] INE:  $K_t$  = ", kt];
Print["KOEFIČIJENT PROTOKA  $K_t$  NAKON PROJEKTOVANJA:  $K_t$  = ", kt1];
Print[
  "KOEFIČIJENT PROTOKA- ODNOS STVARNE I PROJEKT. DУ\ [CapitalZHacek] INE:  $K_p$  = ", kp];
Clear[pf, q, n, t, tt,  $\lambda$ , a, k, b, j, c, d, tu, tk, tp, cs, sd, dk, dr,  $\delta$ , h, qsm,
   $\mu$ , p, s, r,  $\tau$ , x, yx, po, v, f, g, m,  $\lambda 1$ , tt1, a1, k1, c1, b1, j1, tc, gc, gcp,
   $\Delta\tau$ , tcp, tcp1, x1, yx1, zz, pp,  $\Delta r$ , rr, zz1,  $\theta$ , tcp2, tcs, kt, tcs1, kt1, kp]
(*KRAJ PROGRAMA*)

```

## БИОГРАФИЈА

Јелена Јовановић (девојачко Ђукић) рођена је 26. августа 1980. године у Чачку, где је завршила основну и средњу Техничку школу на смеру Електротехника, образовни профил: Електротехничар аутоматике.

Дипломирала је на Саобраћајном факултету Универзитета у Београду, на катедри за друмски и градски саобраћај и транспорт, 2006. године, након чега уписује докторске студије на Машинском факултету у Београду на Катедри за Индустријско инжењерство.

Од 2006. године ради као стручни сарадник а од 2009. као асистент на Вишој техничкој школи/Високој школи техничких струковних студија у Чачку на студијским програмима *Производни менаџмент* (основне студије), *Индустријско инжењерство* (специјалистичке струковне студије) и *Електротехника и рачунарство* (специјалистичке струковне студије) на предметима: Увод у менаџмент, Организација производње, Организација и економика бизниса, Управљање производним процесима, Производни информациони системи, Планирање производње, Индустријски менаџмент, Менаџмент и предузетништво, Моделовање у инжењерском менаџменту, Софтверски алати, Пројектовање у техници, Експериментална мерења и Управљање пројектом.

У оквиру предмета Стручна пракса, Практични рад и Експериментална мерења (на основним и специјалистичким студијама) активно сарађује са привредним окружењем Чачка: Компанија "Слобода" Чачак у оквиру Кабинета за производни и инжењерски менаџмент, "Фабрика резног алата" Чачак, "Милан Благојевић" Лучани, "Металац" Горњи Милановац и др.

Активно је учествовала на пројектима који су реализовани у оквиру пословно-техничке сарадње Компаније "Слобода"-Чачак и Високе школе техничких струковних студија-Чачак у периодима: 2009-2010. (назив пројекта: "Експериментална мерења из области студије рада и времена и обрада резултата коришћењем софтверског пакета *Mathematica*") и 2010-2011. (назив пројекта: "Експериментална мерења из области коришћења машинских капацитета и обрада резултата коришћењем софтверског пакета *Mathematica*"). У току 2013. године ангажована је, као један од руководиоца, на пројекту: Процена капитала - Процена вредности опреме и инвентара Компанија "Слобода" А.Д. - А.Д. "Слобода Апарати" Чачак.

Аутор је или коаутор преко 60 радова, који су саопштени на скуповима међународног и националног значаја или објављени у домаћим и међународним часописима. Коаутор је 2 књиге, 4 практикума и 6 скрипти који представљају основну литературу из истоимених предмета, који се изучавају у оквиру студијских програма ВШТСС у Чачку, и припадају уже стручној области Организација и менаџмент.

Активно се служи енглеским, а користи се и немачким и руским језиком.

## Изјава о ауторству

Потписана Јелена Р. Јовановић

број индекса Д1/06

### Изјављујем

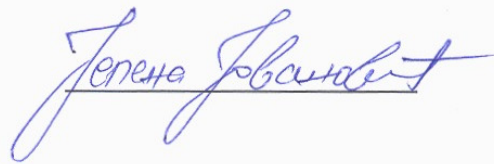
да је докторска дисертација под насловом

ИСТРАЖИВАЊЕ ПРОЦЕСА УПРАВЉАЊА ПРОИЗВОДНИМ  
ЦИКЛУСОМ СЛОЖЕНОГ ПРОИЗВОДА

- резултат сопственог истраживачког рада,
- да предложена дисертација у целини ни у деловима није била предложена за добијање било које дипломе према студијским програмима других високошколских установа,
- да су резултати коректно наведени и
- да нисам кршила ауторска права и користила интелектуалну својину других лица.

Потпис докторанта

У Београду, 22.06.2015.



Јелена Јовановић



## Изјава о истоветности штампане и електронске верзије докторског рада

Име и презиме аутора Јелена Р. Јовановић

Број индекса Д1/06

Студијски програм Машинство – Индустијско инжењерство

Наслов рада Истраживање процеса управљања производним циклусом сложеног производа

Ментор др Драган Д. Милановић, редовни професор

Потписана Јелена Р. Јовановић


Изјављујем да је штампана верзија мог докторског рада истоветна електронској верзији коју сам предала за објављивање на порталу **Дигиталног репозиторијума Универзитета у Београду.**

Дозвољавам да се објаве моји лични подаци везани за добијање академског звања доктора наука, као што су име и презиме, година и место рођења и датум одбране рада.

Ови лични подаци могу се објавити на мрежним страницама дигиталне библиотеке, у електронском каталогу и у публикацијама Универзитета у Београду.

Потпис докторанта

У Београду, 22.06.2015.



## Изјава о коришћењу

Овлашћујем Универзитетску библиотеку „Светозар Марковић“ да у Дигитални репозиторијум Универзитета у Београду унесе моју докторску дисертацију под насловом:

ИСТРАЖИВАЊЕ ПРОЦЕСА УПРАВЉАЊА ПРОИЗВОДНИМ  
ЦИКЛУСОМ СЛОЖЕНОГ ПРОИЗВОДА

која је моје ауторско дело.

Дисертацију са свим прилозима предао/ла сам у електронском формату погодном за трајно архивирање.

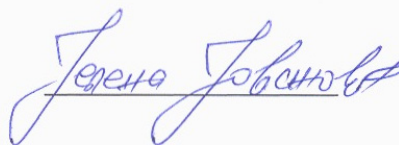
Моју докторску дисертацију похрањену у Дигитални репозиторијум Универзитета у Београду могу да користе сви који поштују одредбе садржане у одабраном типу лиценце Креативне заједнице (Creative Commons) за коју сам се одлучио/ла.

1. Ауторство
2. Ауторство - некомерцијално
3. Ауторство – некомерцијално – без прераде
4. Ауторство – некомерцијално – делити под истим условима
5. Ауторство – без прераде
6. Ауторство – делити под истим условима

(Молимо да заокружите само једну од шест понуђених лиценци, кратак опис лиценци дат је на полеђини листа).

Потпис докторанта

У Београду, 22.06.2015.



1. Ауторство - Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце, чак и у комерцијалне сврхе. Ово је најслободнија од свих лиценци.

2. Ауторство – некомерцијално. Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце. Ова лиценца не дозвољава комерцијалну употребу дела.

3. Ауторство - некомерцијално – без прераде. Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, без промена, преобликовања или употребе дела у свом делу, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце. Ова лиценца не дозвољава комерцијалну употребу дела. У односу на све остале лиценце, овом лиценцом се ограничава највећи обим права коришћења дела.

4. Ауторство - некомерцијално – делити под истим условима. Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце и ако се прерада дистрибуира под истом или сличном лиценцом. Ова лиценца не дозвољава комерцијалну употребу дела и прерада.

5. Ауторство – без прераде. Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, без промена, преобликовања или употребе дела у свом делу, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце. Ова лиценца дозвољава комерцијалну употребу дела.

6. Ауторство - делити под истим условима. Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце и ако се прерада дистрибуира под истом или сличном лиценцом. Ова лиценца дозвољава комерцијалну употребу дела и прерада. Слична је софтверским лиценцама, односно лиценцама отвореног кода.