



Тема:

ОСНОВНЕ МОГУЋНОСТИ ПОВЕЋАЊА КВАЛИТЕТА ТЕХНОЛОШКИХ ПРОЦЕСА

Др Мијодраг Милошевић

Производност операције обраде

У циљу унапређења технолошких процеса размотриће се нека технолошка решења, која се односе на **варијанте редоследа извођења захвата и операција обраде, могућности послуживања више машина од стране једног послужиоца, као и ефекти диференциране и концентрисане обраде резањем**, која се може применити у технолошким процесима израде одређеног производа.

За оцену ефеката поменутих, па и других технолошких решења, користе се погодни критеријуми, као што су **производност, економичност и тачност** обраде.

У анализи ефеката технолошких решења користе се **технолошка, теоријска и стварна производност**, респективно према следећим изразима:

Технолошка производност:
$$P = \frac{1}{t_g}$$

Теоријска производност:
$$P_t = \frac{1}{t_g + t_p}$$

Стварна производност:
$$P_s = \frac{1}{t_k}$$

где су:

t_g основно време обраде

t_p помоћно време обраде

t_k време операције обраде

За оцену ефеката технолошких решења погодно је уместо стварне производности користити њен еквивалент, односно време операције обраде.

Време операције обраде

Укупно време операције одређује се из познатог израза:

$$t_k = t_g + t_a + t_p + t_{me} + \frac{T_{pz}}{z_s} + \sum t_i$$

Пошто операцију обраде одређују усвојени захвати операције погодна је да се прво дефинише израз за време захвата обраде.

За захвате који се изводе једним алатом, односно диференцирано, време обраде одређује се изразом:

$$t_z = t_g + t_a + \left(\frac{\Delta}{\delta}\right) \cdot t_{p1} + t_p + t_{me} + \frac{T_{pz}}{z_s \cdot n_z} + \sum t_i$$

а код концентрисане обраде, код које се одређени број појединачних захвата изводи истовремено одговарајућим бројем алата, време овог сложеног захвата обраде одређује се изразом:

$$t_z = t_{gm} + t_a + t_p + t_{me} + \frac{T_{pz}}{z_s \cdot n_z} + \sum t_i$$

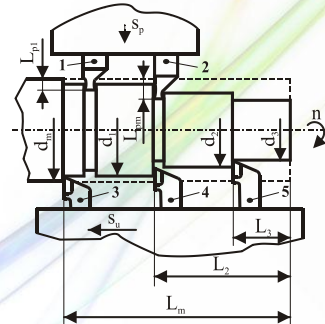
Време замене и регулисања алата одређује се из:

$$t_a = t_1 \cdot \frac{t_g}{T}$$

а код концентрисане обраде ово време одређује се из израза:

$$t_a = \sum_{i=1}^k t_i \cdot \frac{t_{gi}}{T_i}$$

k број појединачних захвата који се изводе истовремено



Време операције обраде

Преглед ознака коришћених у изразима за време обраде:

РЕДНИ БРОЈ	ОЗНАКА	ЗНАЧЕЊЕ
1	t_{gr}, t_{gi}	Основно време обраде
2	t_a	Време замене и регулисања алата на машини
3	Δ	Додатак за обраду
4	δ	Дубина резања у једном пролазу
5	t_{p1}	Време повратног хода алата
6	t_p	Помоћно време
7	t_{me}	Време мерења које захтева застој у обради
8	T_{pz}	Припремнозавршно време по операцији
9	z_s	Величина серије
10	n_z	Број захвата операције
11	Σt_i	Изгубљено време
12	t_1	Време замене и регулисања алата по једном сечиву
13	T, T_i	Постојаност алата
14	t_{gm}	Меродавно основно време обраде

Време операције, која садржи k захвата биће: $t_k = \sum_{i=1}^k t_{zi}$

На основу израза за стварну, технолошку и теоријску производност могу се дефинисати следећи коефицијенти:

Коефицијент производности машине: $\eta_p = \frac{P_s}{P}$

Коефицијент временског искоришћења машине: $\eta_m = \frac{P_s}{P_t}$

Коефицијент континуалности: $\eta = \frac{P_t}{P}$

Очигледно је да се технолошка производност може повећати интензивнијим режимима обраде, теоријска интензивним режимима обраде и повећањем аутоматизације машине, односно смањењем циклусних времена, а стварна производност се може повећати смањењем циклусних и ванциклусних времена.

Трошкови операције обраде

Као еквивалент економичности могу се посматрати трошкови обраде. За ефикасно одређивање трошкова операције и технолошког процеса обраде потребно је одредити трошкове захвата. Трошкови обраде обухватају бруто зараду послуживоца машине и стручног радника R_1 , амортизацију машине M_1 , трошкове алата A_1 и остале директне трошкове B_1 , тако да се и трошкови захвата обраде могу дефинисати изразом:

$$U_z = R_1 + M_1 + A_1 + B_1$$

Поменути елементи трошкова обраде могу се одредити помоћу израза:

$$R_1 = R_o \cdot t_z$$

$$M_1 = M_o \cdot t_z$$

$$A_1 = [(R_o + M_o + B_o) \cdot t_1 + A_o] \cdot \frac{t_g}{T}$$

$$B_1 = \frac{U_{TP}}{Q \cdot n_z} + \frac{U_{PS}}{z_s \cdot n_z} + B_o \cdot t_z + U_E$$

Ознаке R_o , M_o , A_o и B_o представљају респективно: бруто зараду у јединици времена, амортизацију у јединици времена, трошкове по једном сечиву алата и остале трошкове у јединици времена.

где су усвојене следеће ознаке: $R_o = \frac{S_P + S_R}{3600}$ $M_o = \frac{C_M \cdot P}{F_M \cdot \eta_M \cdot 100}$

За алате са изменљивим резним плочицама: $A_o = \frac{C_P}{z_1} + \frac{C_D}{z_2} + \frac{Z_L}{z_3} + \frac{C_R}{z_4} + K_{RA} \cdot t_{RA}$ а за алате који се оштре: $A_o = \frac{C_A}{i+1} + K_o \cdot t_o + K_{RA} \cdot t_{RA}$

$$A_o = \frac{C_P}{z_1} + \frac{C_D}{z_2} + \frac{Z_L}{z_3} + \frac{C_R}{z_4} + K_{RA} \cdot t_{RA}$$

$$A_o = \frac{C_A}{i+1} + K_o \cdot t_o + K_{RA} \cdot t_{RA}$$

Трошкови операције обраде

Јединични трошкови (B_o) обухватају:

Трошкове специјалног прибора: $B_{01} = \frac{U_{SP}}{F_{PR} \cdot \eta_{PR}}$

Трошкове одржавања машине: $B_{02} = \frac{U_{OD}}{F_M \cdot \eta_M}$

Трошкове отплате камата: $B_{03} = \frac{U_{KA}}{F_M \cdot \eta_M}$

Трошкове површине радног места: $B_{04} = \frac{U_{POV}}{F_M \cdot \eta_M}$

Трошкове помоћног материјала: $B_{05} = \frac{U_{PM}}{F_M \cdot \eta_M}$

Трошкове грејања и климатизације: $B_{06} = \frac{U_{GK}}{F_M \cdot \eta_M}$

Трошкове пробне серије, прототипа, дораде и шкарта: $B_{07} = \frac{U_{SD}}{F_M \cdot \eta_M}$

Трошкове мерила: $B_{08} = \frac{U_{ME}}{F_{ME} \cdot \eta_{ME}}$

Трошкови операције обраде

Пажљивом анализом јединичних трошкова B_{0i} , може се уочити да је њима обухваћен онај део трошкова B_1 , који је пропорционалан времену захвата обраде.

Сада се могу одредити укупни јединични трошкови: $B_0 = \sum_{i=1}^8 B_{0i}$

док су трошкови енергије за рад погонског мотора машине одређени изразом:

$$U_E = \frac{(P_M \cdot t_g + P_{MH} \cdot t_{ph})}{3600} \cdot C_E$$

Комбиновањем претходних израза, трошкови захвата обраде, који се изводе једним алатом могу се изразити у облику:

$$U_z = \frac{U_{TP}}{Q \cdot n_z} + \frac{U_{PS}}{z_s \cdot n_z} + t_g \cdot \left[C_o + C_1 + (C_o \cdot t_1 + A_o) \cdot \frac{1}{T} \right] + C_o \cdot t_{pm} + C_2 \cdot t_{ph}$$

а за захвате или операције концентрисане обраде у облику:

$$U_z = \frac{U_{TP}}{Q \cdot n_z} + \frac{U_{PS}}{z_s \cdot n_z} + C_o \cdot \left(t_{gm} + \sum_{i=1}^k t_i \frac{t_{gi}}{T_i} + t_{pm} \right) + \sum_{i=1}^n A_{oi} + C_1 \cdot t_{gm} + C_2 \cdot t_{ph}$$

где су уведене ознаке:

$$C_o = R_o + M_o + B_o \quad C_1 = \frac{P_M \cdot C_E}{3600} \quad C_2 = \frac{P_{MH} \cdot C_E}{3600}$$

$$t_{pm} = \frac{\Delta}{\delta} \cdot t_{p1} + t_p + t_{me} + \frac{T_{pz}}{z_s \cdot n_z} + \sum t_i \quad t_{ph} = \frac{\Delta}{\delta} \cdot t_{p1} + t_p + t_{me}$$

Трошкови операције обраде

Преглед коришћених ознака дат је у табели. За посматрану операцију са k захвата трошкови ће износити:

$$U_k = \sum_{i=1}^k U_{zi}$$

РЕДНИ БРОЈ	ОЗНАКА	ЗНАЧЕЊЕ
1.	U_{TP}	Трошкови једноструке технолошке припреме
2.	U_{PS}	Трошкови понављања серије
3.	S_p, S_R	Бруто зарада послужоца машине и стручног радника
4.	Q	Обим производње
5.	F_M	Годишњи ефективни временски капацитет машине
6.	C_M	Цена машине
7.	Ψ_M	Степен искоришћења временског капацитета машине
8.	p	Амортизациона стопа
9.	C_p, C_d, C_r, C_k	Цена плочине, држача, ломача струготине и резервних делова
10.	z_1	Број резних сечива плочине
11.	z_2, z_3, z_4	Век држача, ломача струготине и резервних делова изражен бројем истрошених сечива плочине
12.	K_{KL}	Трошкови регулисања алата ван машине
13.	t_{KL}	Време регулисања алата ван машине
14.	K_o	Трошкови оштрења алата
15.	t_o	Време оштрења алата
16.	C_A	Цена алата
17.	i	Број оштрења алата
18.	P_M	Снага погонског мотора машине
19.	P_{MH}	Снага празних ходова машине
20.	t_{ph}	Време празних ходова машине
21.	C_E	Цена селективне енергије
22.	U_{SP}	Годишњи трошкови специјалног прибора
23.	U_{GO}	Годишњи трошкови одржавања машине
24.	U_{KA}	Годишњи износ камата за отплату машине
25.	U_{FOV}	Годишњи трошкови површине радног места
26.	U_{FM}	Годишњи трошкови помоћног материјала радног места
27.	U_{CK}	Годишњи трошкови грејања и климатизације
28.	U_{SD}	Годишњи трошкови пробне серије, прототипа, дораве и шкарта
29.	U_{ME}	Годишњи трошкови мерила
30.	F_{Ψ}, F_{ME}	Годишњи ефективни временски капацитет рада прибора и мерила
31.	Ψ_{Ψ}, Ψ_{ME}	Степен искоришћења временског капацитета специјалног прибора и мерила

Приказани критеријуми производности и трошкова операција обраде, односно времена и трошкова операција обраде као њихови еквиваленти, користеће се и за оцену ефеката могућих варијанти редоследа извођења операција и захвата обраде, ефеката диференциране и коцентрисане обраде, могућности послуживања више машина, као и за оцену варијанти других технолошких решења. Према томе, ови критеријуми представљају **основне функције за оцену економских ефеката технолошких решења при пројектовању технолошких процеса.**

Варијанте извођења операција и захвата обраде и њихови ефекти

У технолошким процесима израде производа операција обраде могу се, у општем случају, изводити **редно (Р)**, **паралелно (П)** и **комбиновано (РП)**. Исто тако, и захвати обраде на појединим операцијама, могу се изводити на три поменута начина.

Изучавањем услова при којима се примењују технолошка решења са поменутим варијантама извођења операција и захвата обраде, као и техноекономских ефеката тих варијанти, значајно се доприноси развоју базе знања за пројектовање технолошких процеса израде производа.

Варијанте извођења операција и захвата обраде на једном обрадњу

За анализу могућих варијанти извођења редоследа операција и захвата и њихових ефеката, прво ће се посматрати процес обраде једног производа, који обухвата z операција и i захвата обраде у свакој операцији.

За поменуте три варијанте извођења операција и захвата обраде постоји девет комбинација, које су приказане у табели:

КОМБИНАЦИЈА	РЕДОСЛЕД ОПЕРАЦИЈА	РЕДОСЛЕД ЗАХВАТА
1	Р	Р
2	Р	РП
3	Р	П
4	РП	Р
5	РП	РП
6	РП	П
7	П	Р
8	П	РП
9	П	П

Варијанте извођења операција и захвата обраде на једном обрадњу

Анализа ефеката појединих варијанти извршиће се на основу технолошке производности, односно основног времена t_g као њеног еквивалента.

Ако се усвоји да технолошки процес, или део технолошког процеса, израде неког производа, има три операције, а свака операција садржи четири захвата, односно $z_0=3$, $i_0=12$, онда се за прву варијанту извођења операција и захвата то решење може приказати у виду циклograma:

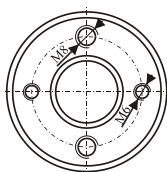
Укупно основно време обраде биће:

$$t_{g_0} = \sum_{z=1}^{z_0} t_{gz} = \sum_{i=1}^{i_0} t_{gi}$$

Технолошка производност, на пример, друге операције, биће:

$$P_2 = \frac{1}{t_{g_2}}$$

Ово технолошко решење одговара делу технолошког процеса израде прстена, који се односи на израду навоја са следећим усвојеним решењем.



Израда четири отвора са навојем реализује се у три операције које се изводе редно са следећим усвојеним решењем:

- **Прва операција:** Бушење четири отвора за навој са редним начином извођења захвата
- **Друга операција:** Упуштање четири отвора са редним начином извођења захвата
- **Трећа операција:** Урезивање четири навоја са редним начином извођења захвата.



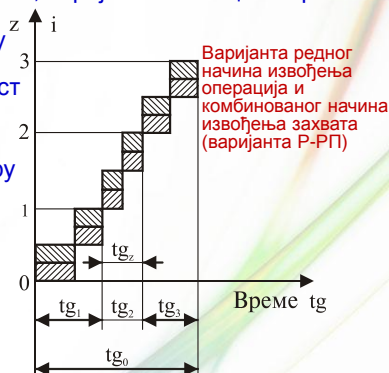
Варијанте извођења операција и захвата обраде на једном обрадњу

За другу варијанту, која одговара редном начину извођења операција, а комбинованом начину извођења захвата, односно, варијанти Р-РП циклोगрам ће изгледати као на слици:

Укупно основно време обраде за ову варијанту очигледно је знатно мање него код прве варијанте. Због тога је технолошка производност код друге варијанте већа.

Ако се са r означи број захвата који се изводе истовремено са меродавним захватима у оквиру појединих операција које се изводе редно онда се може видети да је **укупно основно време** одређено изразом:

$$t_{g_o} = \sum_{i=1}^{i_o-r} t_{g_{i_{max}}}$$



Друга варијанта (варијанта Р-РП) одговара технолошком решењу:

- **Прва операција:** Бушење по два отвора истовремено
- **Друга операција:** Упуштање по два отвора истовремено
- **Трећа операција:** Урезивање по два навоја истовремено

Варијанте извођења операција и захвата обраде на једном обрадњу

За трећу варијанту, која одговара редном извођењу операција, са истовременим извођењем захвата операција, односно варијанти Р-П приказан је циклोगрам:

Укупно основно време за ову варијанту обраде биће:

$$t_{g_o} = \sum_{z=1}^{z_o} t_{g_z} = \sum_{i=1}^{z_o} t_{g_{i_{max}}}$$

Технолошко решење, за посматрани пример, које одговара трећој варијанти, код које је технолошка производност већа него код друге варијанте, односи се на пример обраде са следећим решењем:

- **Прва операција:** Истовремено бушење четири отвора
- **Друга операција:** Истовремено упуштање на четири отвора
- **Трећа операција:** Истовремено урезивање свих навоја



Варијанте извођења операција и захвата обраде на једном обрадку

За четврту варијанту, код које се **операције** изводе **комбиновано (РП)**, а **захвати** у појединим операцијама изводе **редно (Р)**, приказан је циклограм:

Укупно основно време обраде за ову варијанту одређено је изразом:

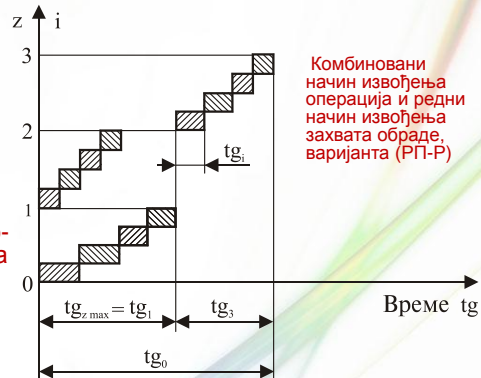
$$t_{g_o} = \sum_{z=1}^{z_o-w} \sum_{i=1}^{i_{\max}} t_{g_i}$$

где су:

i_{\max} број захвата у најдужој операцији
 w број операција које се изводе истовремено са меродавним операцијама

Технолошко решење, које одговара четвртој варијанти, реализује се на следећи начин:

- **Прва операција:** Бушење четири отвора редно
- **Друга операција,** која се изводи истовремено са првом операцијом обухвата: Упуштање четири отвора редно
- **Трећа операција:** Урезивање четири навоја редно



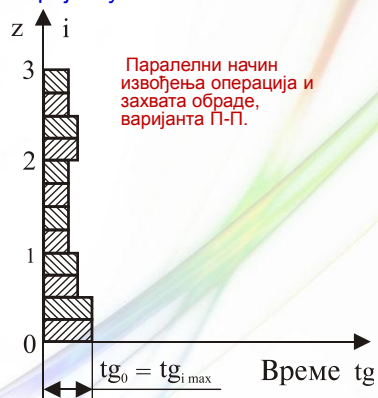
Варијанте извођења операција и захвата обраде на једном обрадку

Посебно је интересантно да се анализира циклограм обраде за последњу, девету варијанту, код које се све операције и захвати у оквиру њих изводе истовремено. Приказан је циклограм обраде за варијанту П-П:

Код ове варијанте основно време обраде, као еквивалент технолошке производности одређује време најдужег захвата, односно:

$$t_{g_o} = t_{g_{i \max}}$$

Према томе, ово решење обезбеђује највећу технолошку производност.



Варијанте извођења операција обраде **серије делова** и њихови ефекти

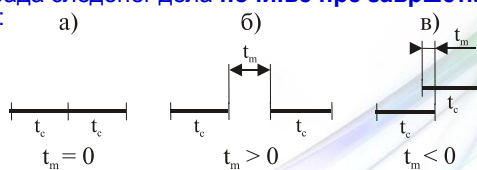
Код обраде серије делова потребно је анализирати ефекте могућих начина обраде како на појединим операцијама тако и с обзиром на могуће начине преласка обрадака између појединих операција целокупног технолошког процеса израде.

За оцену ових ефеката користиће се **цикласно време обраде**, односно, **технолошки циклус**.

Цикласно време обраде на одређеној операцији t_c одређено је збиром **основног и помоћног времена**, односно: $t_c = t_g + t_p$

Варијанте обраде серије делова на **једној операцији**

Обрада **серије делова**, величине z_s , на одређеној операцији може се изводити тако да **нема чекања** између обраде два дела (а), да **постоји чекање** (б) и да обрада следећег дела **почиње пре завршетка обраде** претходног дела (в):



Одговарајући циклуси обраде за серију делова биће за три поменута случаја:

- а) $T_c = z_s \cdot t_c$, $t_m = 0$ б) $T_c = z_s \cdot (t_c + t_m) - t_m$, $t_m > 0$ в) $T_c = z_s \cdot (t_c - t_m) + t_m$, $t_m < 0$

Ови циклуси обраде представљају еквиваленте **теоријске производности**.

Варијанте извођења операција технолошког процеса обраде **серије делова**

У низу операција технолошког процеса израде, делови се могу кретати **редно**, **паралелно** и **комбиновано**.

Код редног извођења операција израде серије делова, обрада на следећој операцији почиње по завршетку обраде свих делова на претходној операцији, што се, за величину серије $z_s=4$:

Технолошки циклус за овај случај биће:

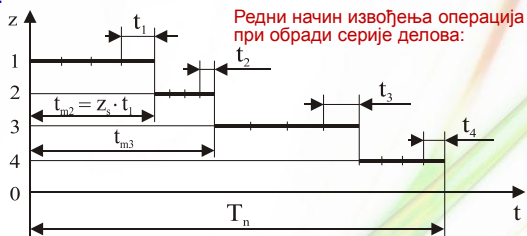
$$T_n = z_s \cdot \sum_{i=1}^z t_i$$

где је:

z број операција

t_i циклусно време обраде по обрадуку на појединим операцијама

z_s величина серије



Код овог начина извођења операција на свим операцијама, осим прве, појављује се **време чекања** $t_{m2}, t_{m3}, \dots, t_{mk}$, које неповољно утиче и на трошкове обраде. Због тога се на овим машинама формирају залихе делова са степеном обрађености са претходних операција, или пак, других делова, који се обрађују за време чекања, чиме се поспешују ефекти производње.

Варијанте извођења операција технолошког процеса обраде **серије делова**

При **паралелном**, односно истовременом извођењу операција, обрада се изводи тако да се по завршетку обраде првог обрадка на претходној операцији одмах почиње његова обрада у следећој операцији. Дат је циклोगрам ове варијанте извођења операција за усвојени пример величине серије $z_s=4$:

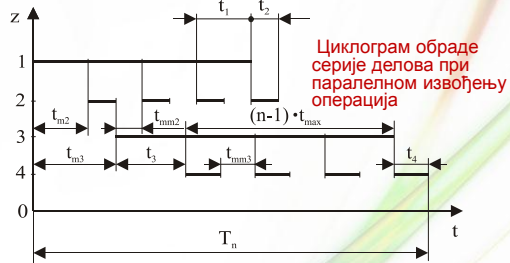
Технолошки циклус обраде за овај случај биће:

$$T_n = t_1 + t_2 + \dots + t_i + (z_s - 1) \cdot t_{\max}$$

$$T_n = \sum_{i=1}^z t_i + (z_s - 1) \cdot t_{\max}$$

где је:

t_{\max} **највеће циклусно време обраде по обрадкы.**



У посматраном примеру циклусно време обраде t_{\max} је највеће на трећој операцији.

Упоредивањем са редним начином извођења операција закључује се да је код паралелног начина извођења операција технолошки циклус **мањи**. Истовремено се може констатовати да се времена чекања на појединим машинама не могу у потпуности свести на времена чекања пре обраде. Због тога ће међувремена машина на појединим операцијама, t_{mm2} , t_{mm3} , ..., t_{mmk} , утицати на повећање трошкова обраде посматраног производа на тим машинама.

Варијанте извођења операција технолошког процеса обраде **серије делова**

Код редно-паралелног начина извођења операција обједињује се рационализација редног и паралелног начина извођења операција, што се може видети из циклोगрама за посматрани пример.

Очигледно је да се код ове варијанте време почетка обраде, на пример, на другој операцији, одређује тако да се **искључи међувреме** $t_{mm2}=0$. Дакле време чекања на овој операцији концентрисано је на време пре обраде које износи:

$$t_{m_2} = z_s \cdot (t_1 - t_2) + t_2$$

Слично томе, време чекања машине на четвртој операцији биће:

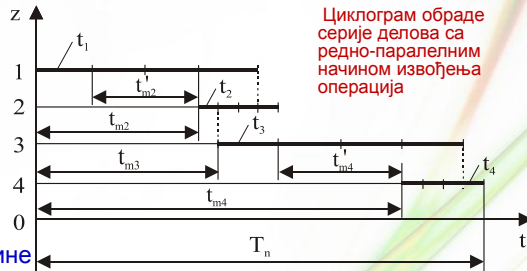
$$t_{m_4} = z_s \cdot (t_3 - t_4) + t_4$$

Технолошки циклус за ову варијанту одређује се на основу израза:

$$T_n = \sum_{i=1}^z t_i + t'_{m_2} + t'_{m_4} + (z_s - 1) \cdot t_4 \quad \text{где су: } t'_{m_2} = (z_s - 1) \cdot (t_1 - t_2)$$

$$t'_{m_4} = (z_s - 1) \cdot (t_3 - t_4)$$

Лако се може уочити да су овом варијантом обједињене све предности редног и паралелног начина извођења операција, тако што је технолошки циклус T_n код комбинованог начина извођења операција обраде краћи него код редног начина, а време чекања је концентрисано пре почетка обраде.



Могућности послуживања више машина

Једна од могућности повећања квалитета технолошких процеса израде производа односи се на могућност да **један послужилац** послужује **више машина**, чиме се утиче на смањење трошкова израде U_K посматраног производа.

Да би се ова могућност утврдила потребно је циклусно време обраде написати у следећем облику:

$$t_c = t_m + t_r$$

где су:

t_m време заузетости машине на посматраној операцији

t_r време заузетости радника на посматраној операцији.

Слободно време, односно међувреме радника t_{mr} и t_{mm} износиће:

$$t_{mr} = t_c - t_r$$

$$t_{mm} = t_c - t_m$$

Сходно томе, могу се одредити **коэффициенти заузетости радника ψ_r** и **машине ψ_m** на посматраној операцији обраде:

$$\psi_r = \frac{t_r}{t_c} = 1 - \frac{t_{mr}}{t_c}$$

$$\psi_m = \frac{t_m}{t_c} = 1 - \frac{t_{mm}}{t_c}$$

Под **временом машине** се подразумева оно време, односно део циклусног времена, које не захтева присуство радника на посматраној операцији.

Могућности послуживања више машина

Ако се на групи истих или сличних машина изводе исте или сличне операције обраде, са потребом ангажовања послуживоца на почетку и крају обраде, онда се број машина, које **један послужилац може да послужи**, одређује из следећег услова:

$$\psi_{r_1} + \psi_{r_2} + \dots + \psi_{r_i} + \dots + \psi_{r_n} \leq 1$$

Усвајањем да су коэффициенти заузетости радника на појединим машинама приближно исти, тј. $\psi_{r_1} \approx \psi_{r_2} \approx \psi_m \approx \psi_r$, тада је:

$$n \cdot \psi_r \leq 1$$

Број машина које послужује један послужилац износиће:

$$n \leq \frac{1}{\psi_r} \quad n \leq \frac{t_c}{t_r} \quad n \leq \frac{t_m + t_r}{t_r} \quad n \leq \frac{t_m}{t_r} + 1$$

У пракси се могу појавити следећи случајеви:

$$t_m = (n-1) \cdot t_r$$

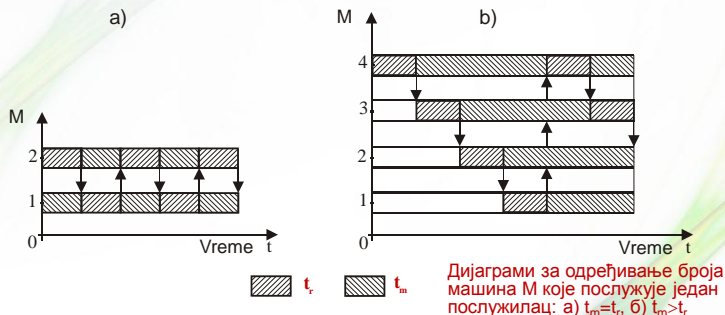
$$t_m > (n-1) \cdot t_r$$

$$t_m < (n-1) \cdot t_r$$

Имајући у виду да се у производној пракси могу појавити различите могућности послуживања више машина, онда се тај задатак за поједине случајеве најлакше решава **графички**.

Иста циклусна времена обраде на појединим машинама

За овај случај посматраће се примери код којих су времена заузетости машине и радника иста, односно $t_m = t_r$ (а), и пример када је $t_m > t_r$ (б):



У оба случаја види се да је $t_{mm} = t_{mr} = 0$, док је за случај (б) испуњен и услов да су времена машина на појединим операцијама иста, $t_{mi} = \text{const}$, а и времена заузетости радника на појединим операцијама иста, $t_{ri} = \text{const}$.

За ове услове приказани дијаграми омогућују одређивање броја машина које послужује један послужилац. У првом случају ће трошкови обраде, који се односе на трошкове зарада, за посматрану операцију обраде једног обрадка бити два пута мањи, а у другом случају четири пута мањи.

Иста циклусна времена обраде на појединим машинама

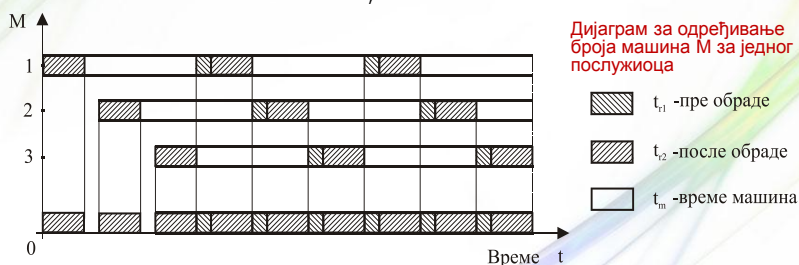
На дијаграму је приказан случај када су времена машина иста, односно:

$$t_{m1} = t_{m2} = t_{m3} = t_m$$

док је време заузетости радника, односно послуживоца, одређено временом пре обраде t_{r1} и временом после обраде t_{r2} , тако да је:

$$t_r = t_{r1} + t_{r2}$$

$$t_r = \text{const.}$$

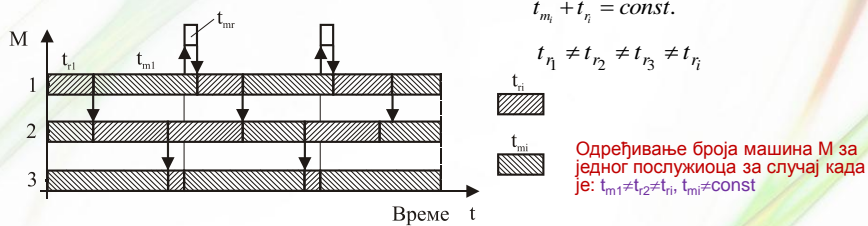


Код овог примера види се да један послужилац може да послужи три машине, што повољно утиче на трошкове израде производа.

Различита циклусна времена обраде на појединим машинама

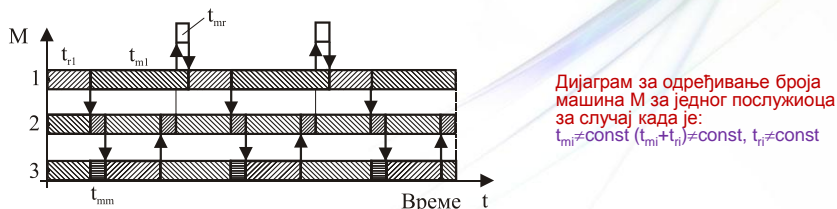
Код оваквих примера једино је графички могуће коректно утврдити број машина које може да послужи један радник.

Пример на дијаграму се односи на случајеве када је:



У случају када је испуњен услов: $(t_{m_i} + t_{r_j}) \neq const.$ $t_{r_j} \neq const.$

Изглед дијаграма је следећи:



Диференцијација и концентрација захвата и операција обраде

У анализи ефеката девет варијанти, односно комбинација извођења операција и захвата, на основу технолошке производности као еквивалента основног времена обраде t_o , видело се да са повећањем броја захвата који се изводе истовремено **технолошка производност осетно расте**.

Да би се коректно утврдили ефекти појединих варијанти извођења захвата и операција за одређене услове производње, односно утврдили фактори који утичу на избор појединих варијанти при пројектовању технолошког процеса, ова проблематика решаваће се поступно, од анализе ефеката диференциране обраде, обраде са повећаним степеном концентрације захвата до обраде са највећим степеном концентрације захвата и операција, прво на основу анализе **теоријске**, па потом на основу **стварне производности**.

Диференцијација захвата обраде

Ако се захвати појединих операција изводе **редно**, тако да се сваки захват изводи **једним алатом**, онда је реч о обради са **диференцираним** начином извођења захвата.

Нека циклусна времена појединих захвата одређене операције, која има k захвата, износе: $t_1, t_2, \dots, t_i, \dots, t_k$.

Циклусно време операције, дакле износиће: $T_o = t_1 + t_2 + \dots + t_i + \dots + t_k$ $T_o = \sum_{i=1}^k t_i$

Ако се одреди средње циклусно време захвата t_{sr} , онда је циклусно време операције са диференцираним начином извођења захвата одређено изразом:

Овакво технолошко решење операције примењује се најчешће као рационално решење обраде у **појединачној производњи** на конвенционалним обрадним системима у **малосеријској и средњесеријској производњи** на обрадним системима са CNC управљањем, као и на конвенционалним бушилицама уз примену специјалног прибора.

Обрада са концентрацијом првог степена

Ако се усвоји такво технолошко решење које подразумева да се одређени број захвата m изводи истовремено, са истим просечним, односно средњим временом захвата као код диференциране обраде, тада је реч о обради са **концентрацијом првог степена**, за коју је циклусно време обраде одређено изразом:

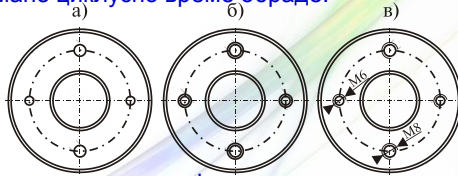
$$T_I = \frac{k}{m} \cdot t_{sr} \quad \text{Из односа } T_o/T_I \text{ добија се да је: } T_I = \frac{T_o}{m}$$

што указује да се при обради са концентрацијом првог степена циклусно време обраде m пута **краће** него код диференциране обраде, разуме се при поменутим условима, односно при истом средњем циклусном времену захвата.

За претходно поменути пример, у случају када се обрада реализује у три операције, а свака од њих са, условно названа, четири захвата, реализација сваке операције са концентрацијом захвата првог степена, на пример, на бушилици са вишевретеом главом, имаће циклусно време обраде:

$$T_I = \frac{k}{m} \cdot t_{sr} \quad T_I = \frac{4}{4} \cdot t_{sr} \quad T_I = t_{sr}$$

Операције обраде са концентрацијом првог степена на бушилици са вишевретеом главом:
а) бушење четири отвора, б) упуштање четири отвора, в) урезивање четири навоја



Циклусно време операција обраде, уз претпоставку да је средње време захвата исто као код диференциране обраде биће k/m пута мање у односу на диференцирани начин извођења захвата.

Операције обраде са концентрацијом првог степена примењују се најчешће у **средњесеријској производњи**, на бушилицама са вишевретеом главом, вишесечним струговима, једновретеним аутоматима, итд.

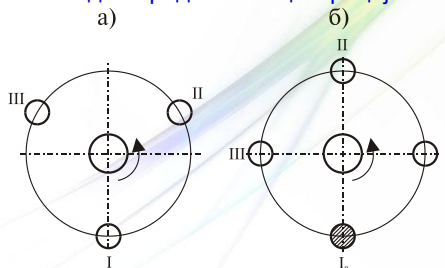
Обрада са концентрацијом другог степена

Технолошки системи који омогућавају истовремену реализацију претходно усвојених операција обраде са концентрацијом првог степена, уствари, представљају примере обраде са концентрацијом другог степена. У такве технолошке системе спадају **вишевретени аутомати** и разне **агрегатне машине** са конвенционалним и НС управљањем.

Код ових технолошких система у производној пракси јављају се **два карактеристична решења**. Код првог, технолошки системи **немају** тзв. помоћне, односно теретне станице, а код другог случаја могу се појавити примери са једном или две помоћне, односно **теретне станице**. На овим станицама врши се постављање, стезање, скидање и окретање обрадака, паралелно са процесом обраде на обрадним станицама, односно позицијама.

Дат је пример три операције, које се изводе на агрегатним бушилицама без и са једном теретном станицом, при чему се изводи обрада са концентрацијом **другог степена**:

Пример агрегатне бушилице:
а) без теретне станице,
б) са једном теретном станицом



Обрада са концентрацијом другог степена

Код првог примера обрада се изводи на свим обрадним станицама, односно позицијама, а код другог на позицији I_o врши се постављање и скидање обрадка.

Посматрани пример истовремене обраде раније поменуте три операције у процесу обраде на овим агрегатним бушилицама позната као концентрација операција, изводиће се на следећи начин:

- **I позиција:** Бушење четири отвора истовремено
- **II позиција:** Упуштање четири отвора истовремено
- **III позиција:** Урезивање четири навоја истовремено

Дакле, ако се укупни број захвата k обрађује на више обрадака истовремено на n позиција са концентрацијом првог степена m са приближно истим циклусним временом t_k на појединим позицијама, тада је циклусно време операција са концентрацијом другог степена одређено изразом:

$$T_{II} = \frac{k}{m \cdot n} \cdot t_k \quad t_k = t_{k_g} + t_{k_p}$$

Из односа T_o/T_{II} добија се:

$$\frac{T_o}{T_{II}} = m \cdot n \cdot \frac{t_{sr}}{t_k}$$

Према томе, за случај када је: $t_{sr} \approx t_k$

добија се да је **теоријска производност** при обради са концентрацијом другог степена $(m \cdot n)$ пута **већа** него код диференциране обраде.

Вишепозициона обрада на технолошким системима без теретне станице

Средње време сложених захвата t_k обухвата основно t_{k_g} и помоћно време t_{k_p} које обухвата примцање и одмицање носача алата, мењање позиције, време постављања, стезања, отпуштања и скидања обрадка.

Код технолошких система **без теретне станице** за време t_{k_p} станице на којима се врши стезање ће бити делимично временски неактивне, односно на њима се у том времену неће вршити обрада.

Код оваквих технолошких система може се усвојити да је:

$$\frac{t_{sr}}{t_k} = \frac{t_g + t_p}{t_{k_g} + t_{k_p}}$$

$$\frac{t_{sr}}{t_k} \approx 1$$

Овај израз очигледно важи за случај када су основна и помоћна времена једнака, односно:

$$t_g = t_{k_g}$$

$$t_p = t_{k_p}$$

У том случају ће бити да је:

$$T_{II} = \frac{T_o}{m \cdot n}$$

Вишепозициона обрада на технолошким системима са теретном станицом

Код вишепозиционе обраде на технолошким системима са теретном станицом, помоћно време t_p може се преклопити са основним временом t_g тако што је:

$$t_p \leq t_k$$

Сада је **средње меродавно циклусно време** обраде одређено из:

$$t_k = t_{k_g}$$

$$t_k = t_g$$

Из односа: $\frac{t_{sr}}{t_k} = \frac{t_g + t_p}{t_g}$ добија се да је: $\frac{t_{sr}}{t_k} = 1 + \frac{t_p}{t_g}$

У пракси се узима да је: $\frac{t_p}{t_g} = (0,5 \div 1)$ па се добија да је однос: $\frac{t_{sr}}{t_k} = 1 + (0,5 \div 1)$

За примере обраде на технолошким системима **са теретном станицом** добија се да је циклусно време обраде са концентрацијом другог степена:

$$T_n = \frac{T_o}{m \cdot n \cdot (1,5 \div 2)}$$

Сходно томе, теоријска производност повећана је у односу на обраду на технолошким системима без теретне станице, **(1,5-2)** пута.

Технолошка решења обраде са концентрацијом другог степена примењују се, са високим степеном рационализације, у **крупносеријској и масовној производњи**.

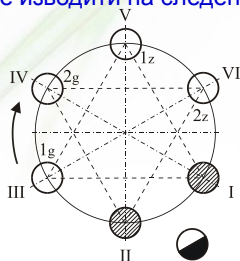
Вишепозициона обрада на технолошким системима са теретном станицом

Код обраде са концентрацијом другог степена обрада се може вршити **редно, редно-паралелно и паралелно**.

Као пример, посматраће се обрада степенасте осовине на шестовретеном вертикалном полуаутомату са CNC управљањем.

Код **редне** обраде на овом стругу са **две теретне станице**, обрада ће изводити на следећи начин:

Операција обраде степенасте осовине на шестовретеном полуаутомату са NC управљањем



Редни начин извођења обраде степенасте осовине на шестовретеном полуаутомату

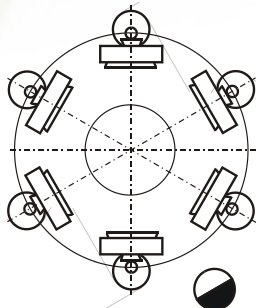
- **Позиција I:** Скидање и намештање прве стране
- **Позиција II:** Скидање и намештање друге стране
- **Позиција III:** Груба обрада прве стране
- **Позиција IV:** Груба обрада друге стране
- **Позиција V:** Завршна обрада прве стране
- **Позиција VI:** Завршна обрада друге стране

Очигледно је да је обрада појединих површина редна и свака се обрађује истим алатом, што обезбеђује уједначену тачност обраде свих обрадака.

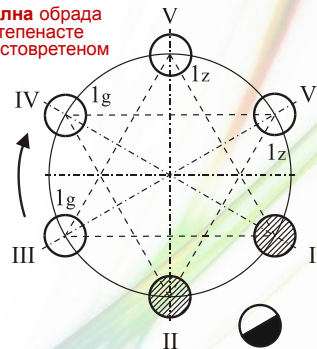
Вишепозициона обрада на технолошким системима са теретном станицом

Код **редно-паралелног** начина обраде на истом стругу, обрада једне стране изводи се на **две позиције**, како груба тако и завршна, што даје неуједначену тачност обраде.

Као пример **паралелне обраде** наводи се вишепозициона машина за озубљење, код које се на свакој позицији врши постављање и скидање обрадка, што због непостојања теретне станице **повећава циклусно време**.



Редно-паралелна обрада једне стране степенасте осовине на шестовретену полуаутомату



Вишепозициони технолошки систем за паралелни начин израде озубљења на истим или различитим производима

Обрада са концентрацијом трећег степена

Спајањем (с) вишепозиционих технолошких система у један **интегрални сложен технолошки систем**, познат под именом **аутоматска линија** или **трансфер**, на коме се обрадак аутоматски помера од једне до друге машине у времену који се назива такт t_o , добија се технолошко решење обраде са концентрацијом **трећег степена**, код кога је циклусно време обраде одређено изразом:

$$T_{III} = \frac{T_o}{m \cdot n \cdot c} \cdot t_o$$

Не упуштајући се у могућности технолошких решења и са већим степеном концентрације захвата и операција обраде, види се да се са повећањем степена концентрације повећава и теоријска производност.

Утврђивање **оптималне концентрације захвата и операција** обраде за задате услове, међутим, врши се на основу анализе **стварне производности и трошкова обраде**.

Одређивање оптималне концентрације захвата и операција обраде

Пажљивом анализом циклусних времена обраде при концентрацијама првог, другог и трећег степена, може се закључити да се ово време мења по **хиперболичној зависности** од степена концентрације $n_x = m \cdot n$, односно:

$$T_x = \frac{k}{n_x} \cdot t_{zx}$$

где су:

T_x циклусно време обраде при концентрацији n_x

t_{zx} средње време захвата обраде при концентрацији n_x

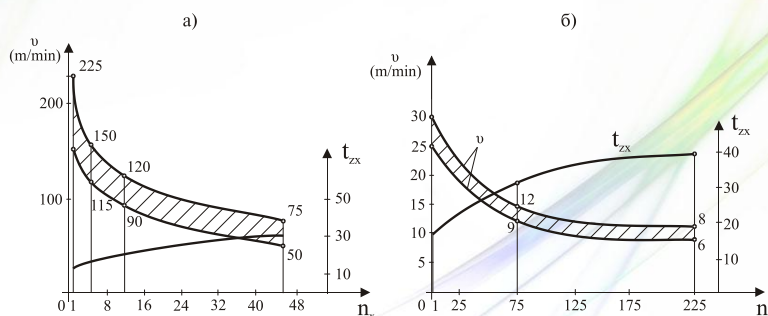
Просечно време концентрисане обраде

Време t_{zx} има приближно линеарну законитост промене, између вредности $t_{zx}=t_{z1}$ која одговара диференцираној обради, до $t_{zx}=t_{z2}$, која одговара концентрацији n_2 .

На основу претходних анализа, види се да средње време захвата при коришћењу теретне станице може бити двоструко мање него што је средње време захвата при диференцираној обради.

У производној пракси је познато да се са повећањем концентрације захвата и операција смањује брзина резања до одређене границе, што се види са дијаграма, где је законитост промене времена:

$$t_{zx} = t_{zx}(n_x)$$



Промена брзине резања и средњег времена захвата при концентрисаној обради:
а) стругањем, б) бушењем

Просечно време концентрисане обраде

За приближне прорачуне, који у пракси дају задовољавајуће резултате, као што је и истакнуто, узима се да време t_{zx} има **линеарну зависност** од концентрације n_x .

Ако је при концентрацији $n_x=1$ време: $t_{zx} = t_{z1}$

а при концентрацији $n_x=n_2$ време : $t_{zx} = t_{z2}$

онда се приближно може написати једначина промене времена t_{zx} у облику:

$$t_{zx} = t_{z1} + \frac{n_x}{n_2} \cdot (t_{z2} - t_{z1})$$

На основу овог израза, као и на основу приказаних дијаграма, види се да са повећањем степена концентрације, односно броја алата којима се обрада изводи истовремено, расте и време t_{zx} .

Пораст овог времена изазива смањење брзине резања при повећању степена концентрације, али и чести застоји због замене алата који се троше. Због тога се, за одређивање оптималне концентрације захвата и операција, мора одредити **укупно време обраде**, као еквивалент стварне производности.

Укупно време концентрисане обраде

Полазећи од основног израза за укупно време операције може се написати израз за укупно време при концентрисаној обради у облику:

$$T = T_x + t_a + t_{p1} + t_{p2}$$

где су:

T_x циклусно време обраде

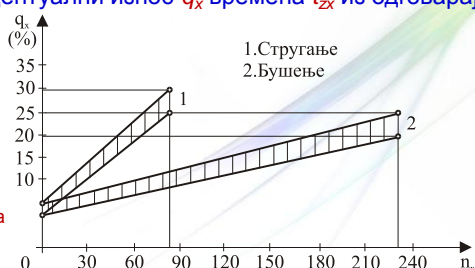
t_a време замене и регулисања алата на технолошком систему

t_{p1} помоћно време за примицање и одмицање алата

t_{p2} помоћно време за промену позиције за обраду

Остали елементи времена су **занемарени**, јер битније не утичу на време T код процеса израде производа великог обима производње. Исто тако, времена t_{p1} и t_{p2} **не зависе** од степена концентрације n_x .

Време замене и регулисања алата, према искуствима из производне праксе, узима се као процентуални износ q_x времена t_{zx} из одговарајућих дијаграма:



Дијаграм за одређивање процентуалног износа времена замене и регулисања алата

Укупно време концентрисане обраде

Време замене и регулисања алата при концентрацији n_x сада се може одредити из израза:

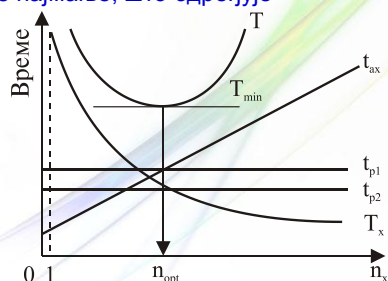
$$t_{ax} = q_x \cdot t_{zx}$$

Тако да можемо написати израз за укупно време при концентрисаној обради у облику:

$$T = \left(\frac{k}{n_x} + q_x \right) \cdot t_{zx} + t_{p1} + t_{p2}$$

Сада се може приказати дијаграм за **укупно време концентрисане обраде**, одакле се види да постоји одређени степен концентрације, односно број алата при којем је ово време најмање, што одређује **оптималну концентрацију**.

Уз одређивање оптималне концентрације захвата и операција на основу минималног времена T_{min} , редовно се врше додатне анализе на бази **трошкова обраде** при тако одређеној концентрацији, као и при другим технолошким решењима која се, на пример, могу односити на обраду на **два технолошка система са двоструко мањом концентрацијом**.



Дијаграм за одређивање оптималне концентрације захвата и операција

Замена и регулисање алата при концентрисаној обради

Имамо **три** најпознатија начина замене и регулисања алата код технолошких система на којима се реализује концентрисана обрада.

Код **делимичне замене алата** истовремено се мењају алати са **приближно једнаком постојаношћу**.

Потпуна замена алата подразумева замену **свих алата** у тренутку отказа било ког алата.

Код **појединачне варијанте замене** мења се само онај алат који је у отказу.

Очигледно је да су код прве варијанте застоји због замене алата мањи него код треће варијанте, али је искоришћеност алата код треће варијанте већа него код прве, а поготово код друге варијанте.

За избор **најповољније варијанте** и времена замене појединих алата код концентрисане обраде у пракси се користи **дијаграм замене алата**.

Као подлоге за овај дијаграм треба дефинисати постојаност појединих алата Q_a изражену бројем обрадака за период једне постојаности, односно:

$$Q_{a_i} = \frac{T_i}{t_{g_i}}$$

где су:

T_i постојаност i -тог алата

t_{g_i} основно време обраде i -тог алата

Замена и регулисање алата при концентрисаној обради

Ако се са Q_d означи обим производње у једној смени, а са h_s ефективни временски капацитет смене, онда се број часова рада после којег се мења i -ти алат одређује из израза:

$$h_i = \frac{Q_{a_i}}{Q_d} \cdot h_s$$

За $Q_d=150$ ком/смени и $h_s=7$ часова и за постојаности шест алата које су дате у **дијаграму замене алата**:

Ред. бр. алата	Q_a	С М Е Н Е			
		1	2	3	4
1	500				█
2	158		█	█	█
3	67	█	█	█	█
4	141		█	█	█
5	151		█	█	█
6	193		█	█	█

Према томе, на основу дијаграма замене алата могу се изабрати најповољније варијанте и време замене појединих алата.

Залихе делова на аутоматским линијама обраде

Да би се искључили **застоји** технолошких система због замене алата на аутоматским линијама у пракси се одређују **залихе делова** са потребним степеном обрађености који одговара посматраној позицији на којој се врши замена и регулисање алата.

Залихе делова на i -тој позицији одређују се према изразу:

$$Q_{z_i} = \frac{Z_i \cdot t_{1sr} \cdot k_a}{t_o}$$

где су:

- Z_i број алата који се мења истовремено на i -тој позицији
- t_{1sr} средње време замене и регулисања једног алата
- t_o такт обраде
- k_a коефицијент сигурности ($k_a=1,5-2$)

Смањењем броја и времена застоја трансфер линија, утиче се на повећање производности и смањење трошкова израде производа.

Методe за оцену и избор оптималних решења технолошких процеса израде производа

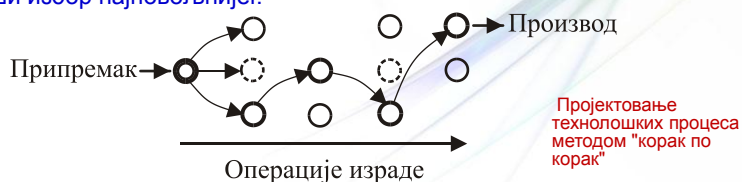
Истакнута варијантност технолошких процеса и елементи варијантности технолошких решења, захтевају да се за оцену варијанти и **избор најповољнијег, односно оптималног решења** технолошког процеса одређеног производа за задате услове, развију и примене погодне **методе**.

Осим решења која су заснована на примени знања технолога као пројектанта, у производној пракси су највише у примени **два прилаза**, односно методе за оцену и избор најповољнијих решења технолошких процеса:

- **Методe које се заснивају на оцени експерата**
- **Методe техноекономске оптимизације.**

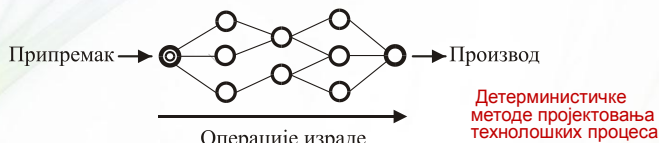
За обе методе је карактеристично да се за њихову примену мора, између осталог, испунити основни заједнички услов који подразумева постављање више рационалних варијанти решења, које се оцењују и међусобно упоређују.

Ако се пројектовање технолошких процеса врши по методи "корак по корак", онда се за сваку операцију може усвојити **више решења** која се оцењују, а потом врши избор најповољнијег.



Методe за оцену и избор оптималних решења технолошких процеса израде производа

Код **детерминистичких метода** пројектовања, избор најповољнијег решења међу усвојеним варијантама врши се на основу **оцене сваке варијанте** као целине.



Пошто се за **било коју усвојену варијанту** технолошког процеса израде, може применити правило декомпоновања на операције, а операција на захвате то се оцена појединих варијанти врши на бази оцена **декомпонованих операција**.

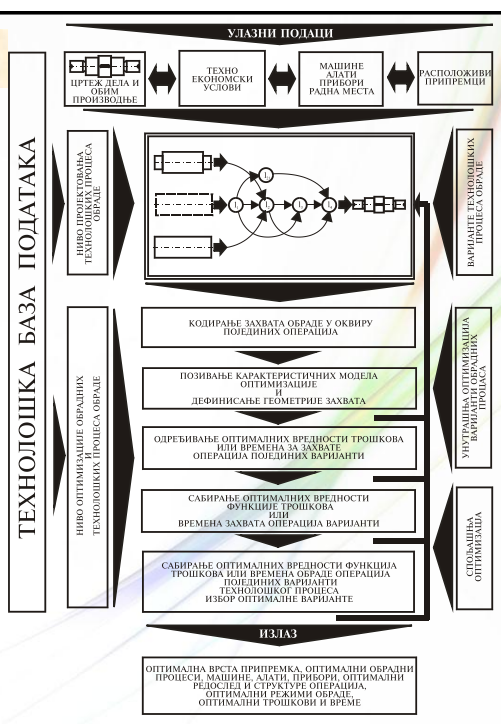
Варијантни модел оптимизације технолошких процеса

У **варијантном моделу оптимизације** учевају се **два основна нивоа**. Први обухвата **пројектовање** технолошких процеса израде у виду варијанти, а други **оцену и избор** најповољнијег решења међу варијантама, применом метода **унутрашње**, односно **спољашње** оптимизације.

Пажљивом анализом варијантног модела оптимизације може се закључити да је основни услов за одређивање оптималног решења технолошког процеса за задате услове, уствари, садржан у квалитету усвојених варијанти које се оцењују и међусобно **упоређују**. Због тога се избор варијанти може сматрати **основним нивоом оптимизације** у овом моделу.

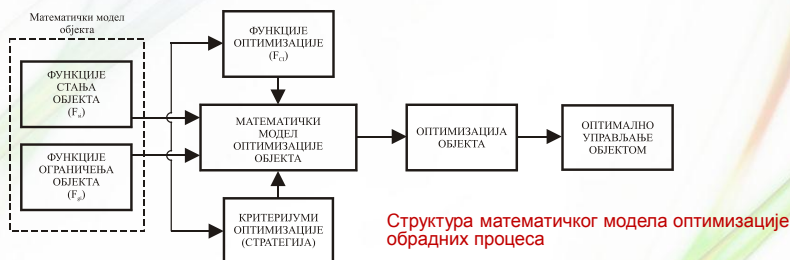
Варијантни модел оптимизације технолошких процеса

Имајући у виду да је оптимизација технолошких процеса израде производа у овом моделу оптимизације заснована на оптимизацији варијанти операција, односно захвата при пројектовању "корак по корак" и оптимизацији декомпонованих операција, односно захвата, код детерминистичких система пројектовања, применом одговарајућих **математичких модела оптимизације**, у наставку ће се детаљније објаснити основна поставка оптимизације обрадних процеса.



Математички модел оптимизације обрадних процеса

Математичку основу техноекономске оптимизације обрадних процеса представља математички модел оптимизације обрадних процеса:



Структуру овог модела оптимизације чине **четири компоненте**:

- **Функције стања процеса** F_{s_i} ($i=1,2,3,\dots$)
- **Функције ограничења или гранични услови** F_{g_i} ($i=1,2,3,\dots$)
- **Критеријуми оптимизације, односно стратегија оптимизације**
- **Функције оптимизације или функције циља** F_{c_i} ($i=1,2,3,\dots$).

Док се првим двама компонентама, тј. функцијама стања и ограничења, дефинише математички модел обрадног процеса, трећом компонентом, заједно са првим двама, постављају се оквири математичког модела оптимизације, да би се затим, дефинитивна формулација математичког модела оптимизације окончао постављањем конкретног облика функције оптимизације.

Математички модел оптимизације обрадних процеса

Општи облик математичког модела оптимизације обрадних процеса има облик:

$$F_c = F_c(x_1, x_2, \dots, x_k, \dots, x_p)$$

$$(D) \begin{cases} x \in D & \text{где су:} \\ x_i = c_i, i = k+1, \dots, x_p & \begin{cases} \bullet F_c & \text{функција оптимизације} \\ \bullet x_1, x_2, \dots, x_k & \text{улазне променљиве контролне величине} \\ \bullet x_{k+1}, \dots, x_p & \text{улазне константне контролне величине} \end{cases} \\ a_r \leq x_i \leq b_r, i, r = 1, 2, 3, \dots, k \end{cases}$$

$$F_{g_j}(x_1, x_2, \dots, x_p) \leq 0, j = 1, 2, \dots, m$$

У оптимизацији обрадних, односно технолошких процеса, као најчешће функције оптимизације користе се **време и трошкови обраде**.

Улазне величине x_1, x_2, \dots, x_k чине параметри **режима обраде**, док улазне величине x_{k+1}, \dots, x_p чине константне величине које произилазе из усвојеног решења обрадног процеса или операције, односно обрадног система.

Према томе, област решења **D** представља радну област обрадног система и процеса коју одређују елементи изабраног обрадног система, као што су:

- **Машина**
- **Прибор**
- **Алат**
- **Обрадак.**

Појам техноекономске оптимизације произилази из чињенице да су у овом моделу функције оптимизације економског карактера, док је функција техничког квалитета производа обухваћена функцијама ограничења F_{g_i} и параметрима ограничења $a_r \leq x_i \leq b_r$.

Математички модел оптимизације обрадних процеса

У математичким моделима оптимизације обрадних процеса као најважнија функција стања користи се **постојаност алата**, односно функције које описују процес хабања алата. Функција и параметри ограничења могу се сврстати у **четири групе**:

- Ограничења за **брзину резања**
- Ограничења за **помак**
- Ограничења за **дубину резања**
- **Сложена** ограничења.

У процедури одређивања оптималних вредности функција оптимизације, односно функција времена и трошкова обраде у области D , изрази за основно време обраде t_g за поједине обрадне процесе могу се узети из литературе. Остали елементи функција времена и трошкова за посматране услове бирају се на основу **препорука**.

Параметри и функције, који одређују област D , за обрадни процес, односно операцију која се реализује на изабраном обрадном систему, бирају се из одговарајућих делова технолошке базе података, као што су база података за машине, приборе, алате, материјале, режиме обраде, нормативе времена итд.

При одређивању оптималних вредности функција оптимизације у области D , може се са прихватљивим нивоом тачности изоставити процедура унутрашње оптимизације ако су препоручени режими обраде у одговарајућој бази података довољно поуздани и квалитетни.

Унутрашња оптимизација у моделу оптимизације подразумева одређивање оптималних режима обраде, док је кључни задатак који се решава применом овог модела **спољашња оптимизација**, која подразумева оцену и одређивање најповољније варијанте операција, односно технолошког процеса.

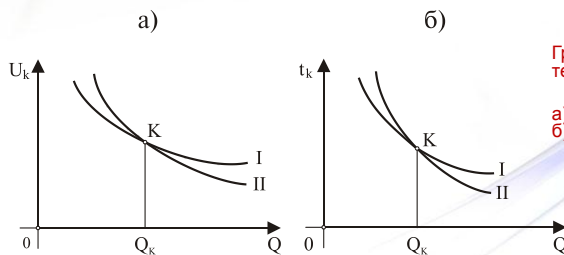
Границе примене варијанти технолошких решења

У производној пракси, чест задатак оптимизације односи се на одређивање **границе применљивости варијанти технолошких решења**, која се могу односити на варијанте припремака, технолошких процеса израде, обрадних процеса, садржаја операција, машина, прибора, алата, концентрације и диференцијације захвата и операција и других елемената технологије.

Варијантни систем оптимизације омогућава решавање и ових задатака, како код освајања технологије израде нових производа тако и код усавршавања постојећих технолошких процеса.

Границе применљивости посматраних варијанти елемената технологије, који су раније поменути, могу се одредити на основу **трошкова или времена обраде**.

Да би се одредила граница применљивости варијанти елемената технологије преко граничног обима производње (Q_k), потребно је дефинисати изразе за трошкове и време операције.



Граница применљивости варијанти технолошких решења:

- а) на основу трошкова,
- б) на основу времена обраде

Q - Обим производње

Границе примене варијанти технолошких решења

Полазећи од израза за време и трошкове захвата, изрази за трошкове и време операције биће:

$$U_k = U_o + \frac{U_{TP} + U_{SP} + U_{PS} \cdot n_s}{Q} \quad t_k = t_o + \frac{T_{pz} \cdot n_s}{Q}$$

где су: n_s број серија у посматраном периоду производње обима Q

$$U_o = R + M + A + B + U_E \quad t_o = t_g + t_a + t_p + t_{me} + \sum t_i$$

Део трошкова операције (U_o) обухвата трошкове зарада послуживоца и стручног радника (R), амортизацију машине (M), трошкове алата (A), остале директне трошкове (B) и трошкове енергије (U_E), односно:

$$R = R_o \cdot t_k \quad M = M_o \cdot t_k \quad A = \{(R_o + M_o + B_o) \cdot t_1 + A_o\} \cdot \frac{t_s}{T} \quad B = \sum_{i=2}^8 B_{oi} \cdot t_k \quad U_E = \frac{(P_M \cdot t_g + P_{MH} \cdot t_{ph})}{3600} \cdot C_E$$

Део времена операције (t_o) обухвата основно време (t_g), време замене и регулисања алата на машини (t_a), укупно помоћно време (t_p), време мерења на радном месту (t_{me}) и изгубљено време $\sum t_i$.

Код одређивања границе применљивости варијанти припремака трошкове обраде треба изразити на нивоу технолошких процеса израде за обе варијанте, с тим што треба узети у обзир и цене припремака.

Пошто за тачку K важи да је $U_{kl} = U_{kll}$ и $t_{kl} = t_{kll}$, граница применљивости посматраних варијанти за одговарајућа технолошка решења одређена је изразима:

$$Q_K = \frac{(U_{TP} + U_{SP} + U_{PS} \cdot n_s)_I - (U_{TP} + U_{SP} + U_{PS} \cdot n_s)_{II}}{U_{oII} - U_{oI}} \quad \text{или на бази} \quad Q_K = \frac{(T_{pz} \cdot n_s)_I - (T_{pz} \cdot n_s)_{II}}{t_{oII} - t_{oI}}$$

времена обраде:

Тачност одређивања граничних количина највише зависи од прецизности података за U_{TP} , U_{SP} , U_{PS} и T_{pz}