

Prof. dr Đorđe Zrnić, dipl. inž.  
Uglješa Bugarić, dipl. inž.

# RASPORED OPREME I RADNIH MESTA NA VIŠEPREDMETNOJ LINIJI

## UVOD

Prilikom projektovanja proizvodnih sistema u različitim etapama potrebno je odrediti: položaj samog sistema u okviru neke industrijske zone, prostorni razmeštaj objekata (podsystema) na odabranoj lokaciji, raspored radionica (odeljenja) unutar određenog objekta, kao i raspored opreme i radnih mesta u okviru pogona (odeljenja). Kada je u procesima proizvodnje, montaže, pripreme robe za distribuciju (komisioniranja) ili pakovanja potrebno izvršiti raspored opreme ili radnih mesta za veći broj proizvoda (obično 5 – 10) koristi se dijagram procesa izrade za više proizvoda. Princip nalaženja optimalnog tj. dovoljno dobrog rasporeda je heuristički. Heuristički postupci omogućuju pronalaženje "dobrih" ali ne i sa sigurnošću optimalnih rešenja. Postupak nalaženja dovoljno dobrog rasporeda zasniva se na poboljšanju polaznog (inicialnog) rasporeda dok se po mišljenju projektanta ne dobije dovoljno dobro rešenje.

## POSTAVKA I POSTUPAK REŠAVANJA PROBLEMA

Izgled dijagrama procesa izrade za više proizvoda dat je u tablici 1. U prvoj koloni se nalaze operacije, a u zaglavlju proizvodi obuhvaćeni procesom. Put svake pozicije je određen pomoću prethodno identifikovanih operacija. Pošto je osnovni cilj layout-a (linijskog rasporeda) da se dobije progresivan tok sa minimumom povratnih puteva i da se postave blizu operacije između kojih postoji najveći intenzitet toka, potrebno je menjati položaj pojedinih operacija na dijagramu

Tablica 1.

Operacija	Proizvod 1	Proizvod 2	....	Proizvod M
Operacija 1	1		....	5
Operacija 2	3	1	....	
Operacija 3	4	3	....	1
....	....	....	....	....
Operacija N	6	7	....	3
Broj bodova	parc. suma 1	parc. suma 2	....	parc. suma M

sve dok se ne dobije optimalni (dovoljno dobar) raspored [1], [2].

Vrednovanje alternativa može da se izvede usvajajući sledeći sistem bodovanja: [1]

- kada operacije idu jedna za drugom (+ 2 boda),
- kada se preskoči jedna operacija (+ 1 bod),
- kada se preskoči više operacija (0 bodova),
- kada se proizvod vraća na prethodnu operaciju (- 1 bod),
- kada se proizvod vraća za dve operacije (- 2 boda),
- kada povratna trasa prelazi više od dve operacije (- 3 boda).

Procena pojedinih alternativa može da se izvrši i tako što će se podaci iz ovog dijagrama uneti u matricu OD – DO i izračunati transportni učinak.

Dovoljno dobro rešenje je ono kod koga je zbir svih parcijalnih suma najveći.

Funkcija cilja, koju treba maksimizirati, može se izraziti na sledeći način:

$$F = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^{N_i} k_i \cdot q_i \cdot bb_{ij} \rightarrow \max \quad (1)$$

gde je:

$k_i$  – uticajni koeficijent (obuhvata broj operacija),

$q_i$  – uticajni koeficijent (obuhvata masu serije),

$bb_{ij}$  – tekući broj bodova koji se određuje u zavisnosti od broja preskočenih operacija.

Broj preskočenih (povratnih) operacija se određuje tako što se od rednog broja

$j$  – te operacije, na liniji, za dati proizvod (i) oduzme redni broj (j-1) operacije, na liniji, za dati proizvod (i). Na osnovu ovoga se dobija:

$$Rbr_i(j) - Rbr_i(j-1) \begin{cases} = 1, & bb_{ij} = 2 \\ = 2, & bb_{ij} = 1 \\ > 2, & bb_{ij} = 0 \\ = -1, & bb_{ij} = -1 \\ = -2, & bb_{ij} = -2 \\ < -2, & bb_{ij} = -3 \end{cases} \quad (2)$$

gde je:

$Rbr_i(j)$  – redni broj,  $j$  – te operacije u proizvodnji i – tog dela, u redosledu operacija na liniji.

Da bi se dobio što realniji prikaz uticaja pojedinih proizvoda na redosled radnih mesta (opreme) na liniji, uveden je kriterijum broja operacija (preko uticajnog koeficijenta  $k$ ) kao i kriterijum mase serije (preko uticajnog koeficijenta  $q$ ).

Uticajni koeficijenti  $k$  predstavljaju odnos broja operacija koje je potrebno izvesti za proizvodnju datog proizvoda i zbira operacija koje je potrebno izvesti za proizvodnju svih proizvoda. Redosled radnih mesta (opreme) na liniji, na osnovu kriterijuma broja operacija, bi trebalo podesiti prema proizvodu za čiju proizvodnju treba izvesti najviše operacija.

Uticajni koeficijenti  $k$  se izračunavaju na sledeći način:

$$k_i = \frac{N_i}{N_u} \quad (i = 1, 2, \dots, m) \quad (3)$$

gde je:

$k_i$  – uticajni koeficijent  $k$  za  $i$  – ti proizvod,

$N_i$  – broj operacija koje je potrebno izvesti za proizvodnju  $i$  – tog proizvoda,

$m$  – ukupni broj proizvoda,

$$N_u = \sum_{i=1}^m N_i \quad \text{-- broj operacija koje}$$

treba izvesti da bi se proizvelo svih  $m$  proizvoda.

Uticajni koeficijenti  $k$  moraju da zadovolje sledeći uslov:

$$\sum_{i=1}^m k_i = 1 \quad (4)$$

Uticajni koeficijenti  $q$  predstavljaju odnos mase celokupne serije jednog proizvoda i zbir masa serija svih proizvoda koji se proizvode u datom tehnološkom procesu. Raspored radnih mesta (opreme) na liniji, na osnovu kriterijuma mase serije, bi trebalo podesiti prema proizvodu čija je serija najveća po masi.

Uticajni koeficijenti  $q$  se izračunavaju na sledeći način:

$$q_i = \frac{M_i}{M_u} \quad (i = 1, 2, \dots, m) \quad (5)$$

gde je:

$q_i$  – uticajni koeficijent  $q$  za  $i$  – ti proizvod,

$M_i$  – masa celokupne serije  $i$  – tog proizvoda,

$m$  – ukupni broj proizvoda,

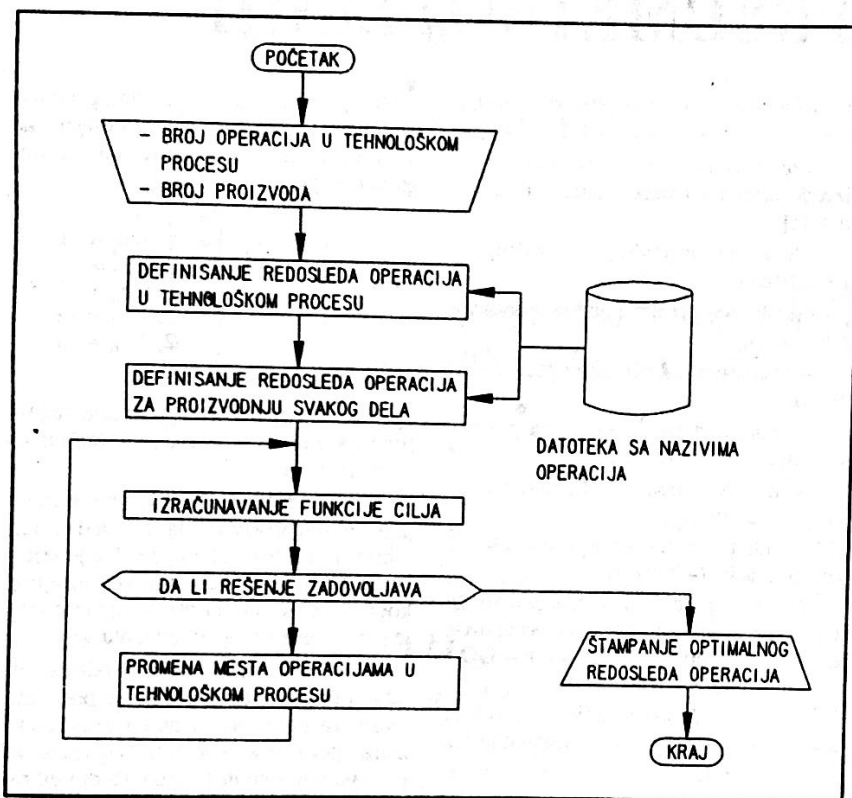
$M_u = \sum_{i=1}^m M_i$  – zbir masa celokupnih serija svih proizvoda.

Na osnovu napred iznetog, očigledno je da proizvod za čiju proizvodnju treba izvesti najviše operacija i proizvod čija je serija najveća po masi, najviše utiču na funkciju cilja.

Uzimanje u obzir uticajnih koeficijenata  $k$  i  $q$  je opciono, tj. najveću vrednost funkcije cilja je moguće tražiti sa ili bez uticajnih koeficijenata ili uzimanjem u obzir samo jednog od uticajnih koeficijenata.

Rešenje tj. maksimum funkcije cilja (1) teorijski moguće je dobiti analitičkim postupkom, tako što se izračunava funkcija cilja za svih  $N!$  mogućih permutacija redosleda radnih mesta (opreme) na liniji. Redosled radnih mesta (opreme) koji bi odgovarao maksimalnoj vrednosti funkcije cilja bio bi onaj optimalni. U praksi zbog ograničenja računarskih sistema na taj način moguće je dobiti optimalno rešenje samo ako broj operacija u proizvodnom procesu ne prelazi 10.

Da bi se proces traženja dovoljno dobro rasporeda opreme kvalitativno unapredio i ubrzao u Institutu za mehanizaciju Mašinskog fakulteta u Beogradu formiran je program IMMFP – DPIVP (Ver. 1.0).



Slika 1.

INSTITUT ZA MECHANIZACIJU	DIJAGRAM PROCESA IZRADE ZA VIŠE PROIZVODA	DAT 29.05.93		
PROIZVODI	OPCIJE	OPERACIJE	BODOVANJE	INFO
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px;">           DODAVANJE OPERACIJA u proces            BRISANJE OPERAC. iz procesa            PROMENA REDOSLEDA operacija            LISTANJE REDOSLEDA operacija         </div>				
Postavite osvetljenje na vas izbor i pritisnite taster Enter				
Za pomeranje u izbornoj liniji :    → Strelica desno    ← Strelica levo Za pomeranje u izbornom prozoru :    ↓ Strelica dole    ↑ Strelica gore				

Slika 2.

### PROGRAM IMMFP – DPIVP (ver 1.0)

Program IMMFP – DPIVP (Ver 1.0) namenjen je za određivanje dovoljno dobrog rasporeda opreme ili radnih mesta, pri izradi više proizvoda, heurističkim postupkom. U okviru programa postoji datoteka koja sadrži imena operacija, što korisniku znatno olakšava izbor operacija koje učestvuju u tehnološkom procesu i proizvodnji datog proizvoda. Korisnik (projektant) u početku definiše broj proizvoda i redosled operacija koje učestvuju u tehnološkom procesu i u izradi pojedinih proizvoda. Pri promeni mesta pojedinih operacijama u tehnološkom procesu dolazi do promene vrednosti funkcije cilja. Dobrotu rešenja određuje sam korisnik (projektant). Dovoljno dobro rešenje, kada korisnik prekine dalji rad, je ono koje je do tada imalo najveću vrednost funkcije cilja.

Algoritam na osnovu koga je napisan program prikazan je na slici 1, dok je izgled ekrana programa prikazan na slici 2.

Tablica 2.

R.br. operacije	Proizvod 1	Proizvod 2	Proizvod 3	Proizvod 4	Proizvod 5
1.	isecanje	struganje	isecanje	zavarivanje	glodanje
2.	struganje	pranje	utiskivanje	anodiziranje	zavarivanje
3.	glodanje	utiskivanje	bojenje	isecanje	anodiziranje
4.	poliranje	nagrizanje		nagrizanje	utiskivanje
5.	zavarivanje	niklovanje		bojenje	pranje
6.	pranje				niklovanje
7.	bojenje				

Tablica 3.

R.br.	Operacija	1	2	3	4	5
1.	niklovanje		5			6
2.	utiskivanje		3	2		4
3.	isecanje	1		1	3	
4.	glodanje	3				1
5.	poliranje	4				
6.	struganje	2	1			
7.	pranje	6	2			5
8.	nagrizanje		4		4	
9.	zavarivanje	5			1	2
10.	bojenje	7		3	5	
11.	anodiziranje				2	3
Suma bodova po proizvodu:		-0.16	-0.16	-0.01	-0.5	-0.12

Ukupan broj bodova: -0.50

Tablica 4.

R.br.	Operacija	1	2	3	4	5
1.	isecanje	1		1	3	
2.	struganje	2	1			
3.	glodanje	3				1
4.	poliranje	4				
5.	zavarivanje	5			1	2
6.	anodiziranje				2	3
7.	pranje	6	2			5
8.	utiskivanje		3	2		4
9.	nagrizanje		4		4	
10.	bojenje	7		3	5	
11.	niklovanje		5			6
Suma bodova po proizvodu:		0.72	0.20	0.01	0.07	0.07

Ukupan broj bodova: 1.07

### PRIMER

Pretpostavimo da se jedan proizvoljni tehnološki proces sastoji iz sledećih 11 operacija: niklovanje, utiskivanje, isecanje, glodanje, poliranje, struganje, pranje, nagrizanje, zavarivanje, bojenje i anodiziranje.

Pretpostavimo takođe da se u datom tehnološkom procesu proizvodi 5 proi-

zvod i da je redosled operacija za njihovu proizvodnju dat u tablici 2.

Utjecajni koeficijenti  $q$  za proizvode u tehnološkom procesu iznose:  $q_1 = 0.3$ ,  $q_2 = 0.2$ ,  $q_3 = 0.1$ ,  $q_4 = 0.3$  i  $q_5 = 0.1$ .

Nakon unošenja potrebnih ulaznih podataka i posle nekoliko promena redosleda radnih mesta dobija se dovoljno dobro rešenje (što ne mora da znači da je i optimalno).

U tablici 3. prikazan je polazni redosled radnih mesta kao i odgavarajuća vrednost funkcije cilja, dok je u tablici 4. prikazano dobijeno dovoljno dobro rešenje i najveća vrednost funkcije cilja tj. najveći broj bodova za napred iznete ulazne podatke, za slučaj kada su u obzir uzeta oba uticajna koeficijenta.

### ZAKLJUČAK

Program IMMF - DPIVP (ver 1.0) omogućava korisniku (projektantu) da veoma brzo uporedi sva dobra rešenja (rešenja koja od svih mogućih na osnovu iskustva projektant smatra za dovoljno dobra), odnosno, da na osnovu usvojenog načina bodovanja (kvantitativne komparacije) nade najbolje od razmatranih rešenja.

Zbog nemogućnosti da se iz skupa svih mogućih rešenja (kompletnog skupa rešenja) nade optimalno rešenje, program je koncipiran tako da izračunava broj bodova za svaku permutaciju redosleda obrade proizvoda koju korisnik unosi u računar. Ovakva koncepcija programa, tj. postupak nalaženja rešenja nije nelogičan, jer je nemoguće, a često i nepotrebno razmatrati sva moguća rešenja, već se projektantu ostavlja mogućnost da sam, na osnovu iskustva, eliminiše jedan broj mogućih rešenja i da koristeći ovaj program uporedi samo ona rešenja za koja smatra da su dovoljno dobra.

Korišćenjem programa podiže se kvalitet i znatno skraćuje vreme projektovanja, omogućavajući projektantu da za veoma kratko vreme dođe do rešenja kojim redosledom obradivati svaki od delova koji se obrađuju u jednom tehnološkom procesu.

### LITERATURA

1. Zrnić, Đ.: Projektovanje fabrika; treće dopunjeno i prošireno izdanje, Mašinski fakultet, Beograd 1993.
2. Muther, R.: Practical Plant Layout, Mc Graw - Hill Book Corp. Inc., New York 1955, str. 175 - 178.