

Sistem paletnih sekvenci postprocesora generatora NC programa u fleksibilnom tehnološkom sistemu

Slobodan Ivanović^{1,*}, Ljubomir Lukić², Zoran Petrović², Branko Radičević²

¹Visoka tehnička mašinska škola strukovnih studija Trstenik

²Mašinski fakultet Kraljevo

U postprocesoru generatoru NC programa u fleksibilnom tehnološkom sistemu prema zadatom broju obradaka, odnosno zadatom broju paletnih sadržaja koji treba obraditi, definiše se sadržaj i broj paletnih sekvenci za svaki obradni centar. Paletnu sekvencu čini grupa paletnih sadržaja sastavljena od zadatog broja paleta koje se obrađuju na jednom obradnom centru u jednom vremenskom periodu.

Na osnovu vremena trajanja operacija, izmena paleta i izmena alata u magacinu, izračunava se ukupno vreme potrebno za obradu zadatog broja paletnih sekvenci na jednom obradnom centru. Prema vremenu radnog hoda i postojanosti alata dobija se broj paletnih sekvenci koje je moguće obraditi tim alatom, a na kraju i broj potrebnih alata u magacinu obradnog centra za obradu zadatog broja paletnih sekvenci. Proračunom ukupnih vremena potrebnih za obradu zadatih paletnih sekvenci na svakom od obradnih centara dobija se ukupno vreme potrebno za obradu zadatog asortimana obradaka u fleksibilnom tehnološkom sistemu.

Ključne reči: Fleksibilni tehnološki sistem, paletni sadržaj, paletna sekvenca.

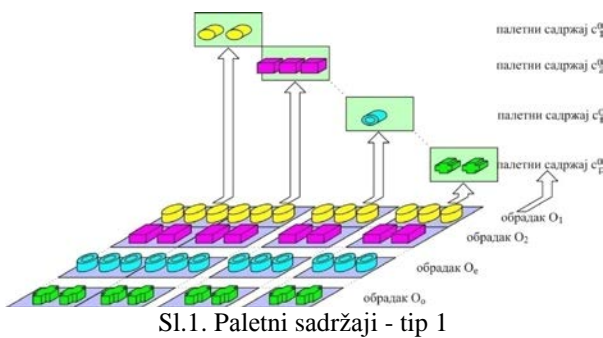
0. UVOD

Paletni sadržaji se formiraju prema osnovnim karakteristikama proizvodnog procesa u fleksibilnom tehnološkom sistemu:

- obratci su geometrijski i tehnološki sličnih karakteristika,
- obratci se obrađuju u različitim serijama,
- paletni sadržaj čini jedan ili više istih obradaka, ili više različitih obradaka od iste vrste materijala (jedan paletni sadržaj se posmatra kao jedan obradak) i
- obrada više različitih paletnih sadržaja se vrši istovremeno.

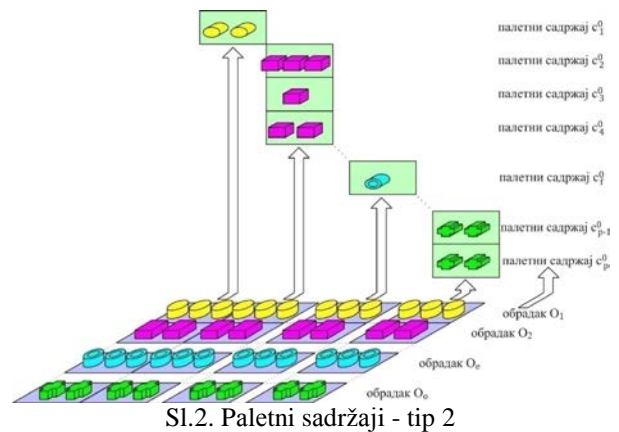
Načini formiranja paletnih sadržaja su:

1. Paletni sadržaj se sastoji od jednog ili više istih obradaka, obrada se izvršava u jednom paletnom sadržaju, odnosno stezanju (sl.1.).



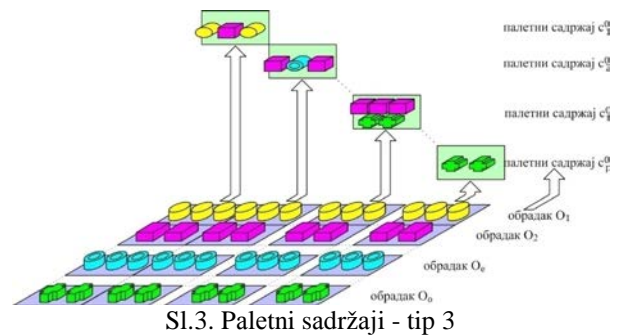
Sl.1. Paletni sadržaji - tip 1

2. Paletni sadržaj se sastoji od jednog ili više istih obradaka, obrada se izvršava u više paletnih sadržaja, odnosno stezanja (sl.2.).



Sl.2. Paletni sadržaji - tip 2

3. Paletni sadržaj se sastoji od više različitih obradaka, obrada se izvršava u više paletnih sadržaja, odnosno stezanja (sl.3.).



Sl.3. Paletni sadržaji - tip 3

1. PALETNI SADRŽAJI

Paletni sadržaji se mogu opisati proizvodnom matrice brojeva obradaka po paletama D^0 i matrice tipova obradaka O , odnosno:

*Kontakt adresa autora: Visoka tehnička mašinska škola strukovnih studija Trstenik, Radoja Krstića 19, 37240 Trstenik, bboby@sbb.rs

$$C^0 = D^0 \cdot O.$$

Matrica brojeva obradaka po paletama je dimenzija $p \times o$, gde p predstavlja broj različitih paletnih sadržaja, a o broj tipova obradaka:

$$D^0 = \begin{bmatrix} d_{11}^0 & d_{12}^0 & \dots & d_{1e}^0 & \dots & d_{1o}^0 \\ d_{21}^0 & d_{22}^0 & \dots & d_{2e}^0 & \dots & d_{2o}^0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ d_{f1}^0 & d_{f2}^0 & \dots & d_{fe}^0 & \dots & d_{fo}^0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ d_{p1}^0 & d_{p2}^0 & \dots & d_{pe}^0 & \dots & d_{po}^0 \end{bmatrix}.$$

Kolone matrice D^0 opisuju koliko kojih obradaka predstavljenih matricom:

$$O = \begin{bmatrix} O_1 \\ O_2 \\ \vdots \\ O_e \\ \vdots \\ O_o \end{bmatrix}$$

se smešta u odgovarajuće paletne sadržaje:

$$C^0 = \begin{bmatrix} d_{11}^0 & d_{12}^0 & \dots & d_{1e}^0 & \dots & d_{1o}^0 \\ d_{21}^0 & d_{22}^0 & \dots & d_{2e}^0 & \dots & d_{2o}^0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ d_{f1}^0 & d_{f2}^0 & \dots & d_{fe}^0 & \dots & d_{fo}^0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ d_{p1}^0 & d_{p2}^0 & \dots & d_{pe}^0 & \dots & d_{po}^0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} O_1 \\ O_2 \\ \vdots \\ O_e \\ \vdots \\ O_o \end{bmatrix},$$

odnosno:

$$C^0 = \begin{bmatrix} d_{11}^0 \cdot O_1 + d_{12}^0 \cdot O_2 + \dots + d_{1e}^0 \cdot O_e + \dots + d_{1o}^0 \cdot O_o \\ d_{21}^0 \cdot O_1 + d_{22}^0 \cdot O_2 + \dots + d_{2e}^0 \cdot O_e + \dots + d_{2o}^0 \cdot O_o \\ \vdots \\ d_{f1}^0 \cdot O_1 + d_{f2}^0 \cdot O_2 + \dots + d_{fe}^0 \cdot O_e + \dots + d_{fo}^0 \cdot O_o \\ \vdots \\ d_{p1}^0 \cdot O_1 + d_{p2}^0 \cdot O_2 + \dots + d_{pe}^0 \cdot O_e + \dots + d_{po}^0 \cdot O_o \end{bmatrix}$$

ili:

$$C^0 = \begin{bmatrix} C_1^0 \\ C_2^0 \\ \vdots \\ C_f^0 \\ \vdots \\ C_p^0 \end{bmatrix} \quad (1)$$

gde je:

- C^0 - matrica paletnih sadržaja,
- C_f^0 - f-ti paletni sadržaj,
- O - matrica tipova obradaka,
- O_e - e-ti tip obratka,
- D^0 - matrica brojeva obradaka po paletama,
- d_{fe}^0 - broj obradaka e-tog tipa smeštenih u f-ti paletni sadržaj.

Dakle, prema zadatoj matrici tipova obradaka O zadaje se niz brojeva obradaka u serijama:

$$\omega^0 = \begin{Bmatrix} o_1^0 \\ o_2^0 \\ \vdots \\ o_e^0 \\ \vdots \\ o_o^0 \end{Bmatrix} \quad (2)$$

gde je:

- ω^0 - niz brojeva obradaka u serijama,
- o_e^0 - broj obradaka u e-toj seriji.

Zatim se na osnovu članova zadate matrice brojeva obradaka po paletama D^0 dobija niz brojeva obradaka po paletama:

$$\delta^0 = \begin{Bmatrix} d_{1,1}^0 & d_{1,2}^0 & \dots & d_{1,e}^0 & \dots & d_{1,o}^0 \\ d_{2,1}^0 & d_{2,2}^0 & \dots & d_{2,e}^0 & \dots & d_{2,o}^0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ d_{f,1}^0 & d_{f,2}^0 & \dots & d_{f,e}^0 & \dots & d_{f,o}^0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ d_{p,1}^0 & d_{p,2}^0 & \dots & d_{p,e}^0 & \dots & d_{p,o}^0 \end{Bmatrix} \quad (3)$$

i onda se prema ta dva niza izračunavaju članovi niza brojeva paletnih sadržaja:

$$\epsilon^0 = \begin{Bmatrix} c_1^0 \\ c_2^0 \\ \vdots \\ c_f^0 \\ \vdots \\ c_p^0 \end{Bmatrix}$$

kao njihovi količnici:

$$\begin{aligned} c_1^0 &= \frac{o_1^0}{d_{1,1}^0} = \frac{o_2^0}{d_{1,2}^0} = \dots = \frac{o_e^0}{d_{1,e}^0} = \dots = \frac{o_o^0}{d_{1,o}^0}, \\ c_2^0 &= \frac{o_1^0}{d_{2,1}^0} = \frac{o_2^0}{d_{2,2}^0} = \dots = \frac{o_e^0}{d_{2,e}^0} = \dots = \frac{o_o^0}{d_{2,o}^0}, \\ &\vdots \\ c_f^0 &= \frac{o_1^0}{d_{f,1}^0} = \frac{o_2^0}{d_{f,2}^0} = \dots = \frac{o_e^0}{d_{f,e}^0} = \dots = \frac{o_o^0}{d_{f,o}^0}, \\ &\vdots \\ c_p^0 &= \frac{o_1^0}{d_{p,1}^0} = \frac{o_2^0}{d_{p,2}^0} = \dots = \frac{o_e^0}{d_{p,e}^0} = \dots = \frac{o_o^0}{d_{p,o}^0}, \end{aligned} \quad (4)$$

gde je:

- $d_{f,e}^0 > 0$ - broj obradaka e-tog tipa smeštenih u f-ti paletni sadržaj.

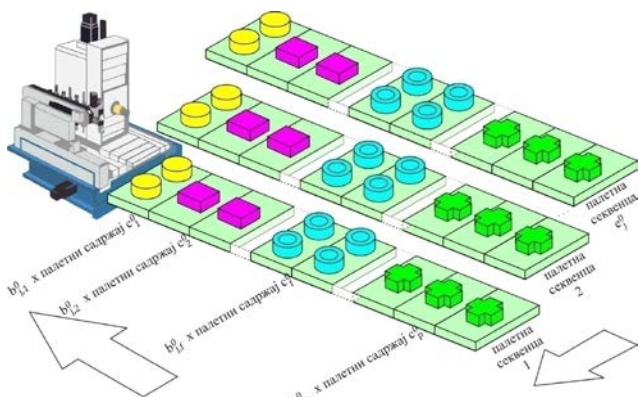
2. PALETNE SEKVENCE

U osnovi samog fleksibilnog tehnološkog sistema je pretpostavka da se paletni sadržaji dopremaju do obradnih centara po slučajnom rasporedu. U tom slučaju je veoma

teško planirati što ravnomernije zatupljenje alata u magacinu alata obradnog centra.

Međutim, ako se unapred odredi koliko kojih paletnih sadržaja će biti dopremljeno za obradu na jednom obradnom centru za vreme iskorišćenja jednog kompleta alata u magacinu alata, onda je moguće izračunati postojanost magacina alata, kao i broj kompleta alata potrebnih za obradu na jednom obradnom centru.

Paletna sekvencija je skup paletnih sadržaja koji se obrađuju na jednom obradnom centru u određenom vremenskom periodu (sl.4.). Redosled paletnih sadržaja unutar paletne sekvence ne mora biti definisan, drugim rečima, paletni sadržaji unutar paletne sekvence se dopremaju do obradnog centra po slučajnom rasporedu.



Sl.4. Paletne sekvence za jedan obradni centar

Paletne sekvence se mogu opisati proizvodom matrice brojeva paletnih sadržaja u sekvencama B^0 i matrice paletnih sadržaja C^0 , odnosno:

$$S^0 = B^0 \cdot C^0.$$

Matrica brojeva paletnih sadržaja u sekvencama je dimenzija $n \times p$, gde n predstavlja broj obradnih centara, a p broj različitih paletnih sadržaja:

$$B^0 = \begin{bmatrix} b_{11}^0 & b_{12}^0 & \cdots & b_{1f}^0 & \cdots & b_{1p}^0 \\ b_{21}^0 & b_{22}^0 & \cdots & b_{2f}^0 & \cdots & b_{2p}^0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ b_{j1}^0 & b_{j2}^0 & \cdots & b_{jf}^0 & \cdots & b_{jp}^0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ b_{n1}^0 & b_{n2}^0 & \cdots & b_{nf}^0 & \cdots & b_{np}^0 \end{bmatrix} \quad (5)$$

Redovi matrice B^0 opisuju koliko kojih paletnih sadržaja predstavljenih matricom (1):

$$C^0 = \begin{bmatrix} d_{11}^0 \cdot O_1 + d_{12}^0 \cdot O_2 + \cdots + d_{1e}^0 \cdot O_e + \cdots + d_{1o}^0 \cdot O_o \\ d_{21}^0 \cdot O_1 + d_{22}^0 \cdot O_2 + \cdots + d_{2e}^0 \cdot O_e + \cdots + d_{2o}^0 \cdot O_o \\ \vdots \\ d_{f1}^0 \cdot O_1 + d_{f2}^0 \cdot O_2 + \cdots + d_{fe}^0 \cdot O_e + \cdots + d_{fo}^0 \cdot O_o \\ \vdots \\ d_{p1}^0 \cdot O_1 + d_{p2}^0 \cdot O_2 + \cdots + d_{pe}^0 \cdot O_e + \cdots + d_{po}^0 \cdot O_o \end{bmatrix}$$

formira paletne sekvence za odgovarajuće obradne centre:

$$S^0 = \begin{bmatrix} b_{11}^0 & b_{12}^0 & \cdots & b_{1f}^0 & \cdots & b_{1p}^0 \\ b_{21}^0 & b_{22}^0 & \cdots & b_{2f}^0 & \cdots & b_{2p}^0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ b_{j1}^0 & b_{j2}^0 & \cdots & b_{jf}^0 & \cdots & b_{jp}^0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ b_{n1}^0 & b_{n2}^0 & \cdots & b_{nf}^0 & \cdots & b_{np}^0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} C_1^0 \\ C_2^0 \\ \vdots \\ C_f^0 \\ \vdots \\ C_p^0 \end{bmatrix}$$

Tada je matrica paletnih sekvenci po paletnim sadržajima za sve obradne centre:

$$S^0 = \begin{bmatrix} b_{11}^0 \cdot C_1^0 + b_{12}^0 \cdot C_2^0 + \cdots + b_{1f}^0 \cdot C_f^0 + \cdots + b_{1p}^0 \cdot C_p^0 \\ b_{21}^0 \cdot C_1^0 + b_{22}^0 \cdot C_2^0 + \cdots + b_{2f}^0 \cdot C_f^0 + \cdots + b_{2p}^0 \cdot C_p^0 \\ \vdots \\ b_{j1}^0 \cdot C_1^0 + b_{j2}^0 \cdot C_2^0 + \cdots + b_{jf}^0 \cdot C_f^0 + \cdots + b_{jp}^0 \cdot C_p^0 \\ \vdots \\ b_{n1}^0 \cdot C_1^0 + b_{n2}^0 \cdot C_2^0 + \cdots + b_{nf}^0 \cdot C_f^0 + \cdots + b_{np}^0 \cdot C_p^0 \end{bmatrix}$$

ili:

$$S^0 = \begin{bmatrix} S_1^0 \\ S_2^0 \\ \vdots \\ S_j^0 \\ \vdots \\ S_n^0 \end{bmatrix} \quad (6)$$

gde je:

- S^0 - matrica paletnih sekvenci,
- S_j^0 - paletna sekvencija za j -ti obradni centar,
- B^0 - matrica brojeva paletnih sadržaja u paletnim sekvencama,
- b_{jf}^0 - broj komada f -tog paletnog sadržaja u jednoj paletnoj sekvenci za j -ti obradni centar.

Matrici brojeva paletnih sadržaja u paletnim sekvencama B^0 odgovara matrica ukupnog broja paletnih sekvenci po obradnim centrima:

$$E^0 = [e_1^0 \quad e_2^0 \quad \cdots \quad e_j^0 \quad \cdots \quad e_n^0] \quad (7)$$

gde je:

- E^0 - matrica brojeva paletnih sekvenci po obradnim centrima,
- e_j^0 - broj paletnih sekvenci za j -ti obradni centar.

Proizvodom matrica (7) i (5):

$$E^0 \cdot B^0 = [e_1^0 \quad e_2^0 \quad \cdots \quad e_j^0 \quad \cdots \quad e_n^0] \cdot \begin{bmatrix} b_{11}^0 & b_{12}^0 & \cdots & b_{1f}^0 & \cdots & b_{1p}^0 \\ b_{21}^0 & b_{22}^0 & \cdots & b_{2f}^0 & \cdots & b_{2p}^0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ b_{j1}^0 & b_{j2}^0 & \cdots & b_{jf}^0 & \cdots & b_{jp}^0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ b_{n1}^0 & b_{n2}^0 & \cdots & b_{nf}^0 & \cdots & b_{np}^0 \end{bmatrix}$$

dobija se matrica čiji članovi predstavljaju ukupne brojeve paletnih sadržaja koji se obrađuju na svim obradnim centrima:

$$E^0 \cdot B^0 = [c_1^0 \quad c_2^0 \quad \dots \quad c_f^0 \quad \dots \quad c_p^0].$$

Dakle, prema zadatoj matrici brojeva paletnih sadržaja u paletnim sekvencama B^0 dobija se niz brojeva paletnih sadržaja u paletnim sekvencama:

$$\beta^0 = \begin{Bmatrix} b_{1,1}^0 & b_{1,2}^0 & \dots & b_{1,f}^0 & \dots & b_{1,p}^0 \\ b_{2,1}^0 & b_{2,2}^0 & \dots & b_{2,f}^0 & \dots & b_{2,p}^0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ b_{j,1}^0 & b_{j,2}^0 & \dots & b_{j,f}^0 & \dots & b_{j,p}^0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ b_{n,1}^0 & b_{n,2}^0 & \dots & b_{n,f}^0 & \dots & b_{n,p}^0 \end{Bmatrix} \quad (8)$$

gde je:

$$b_{j,f}^0 - \text{ broj komada f-tog paletnog sadržaja u jednoj paletnoj sekvenci za j-ti obradni centar.}$$

Za niz brojeva paletnih sekvenci po obradnim centrima dobijen prema zadatoj matrici E^0 :

$$\varepsilon^0 = \{e_1^0 \quad e_2^0 \quad \dots \quad e_j^0 \quad \dots \quad e_n^0\} \quad (9)$$

važi:

$$\begin{aligned} b_{1,1}^0 \cdot e_1^0 + b_{2,1}^0 \cdot e_2^0 + \dots + b_{j,1}^0 \cdot e_j^0 + \dots + b_{n,1}^0 \cdot e_n^0 &= \sum_{j=1}^n b_{j,1}^0 \cdot e_j^0 = c_1^0 \\ b_{1,2}^0 \cdot e_1^0 + b_{2,2}^0 \cdot e_2^0 + \dots + b_{j,2}^0 \cdot e_j^0 + \dots + b_{n,2}^0 \cdot e_n^0 &= \sum_{j=1}^n b_{j,2}^0 \cdot e_j^0 = c_2^0 \\ &\vdots \\ b_{1,f}^0 \cdot e_1^0 + b_{2,f}^0 \cdot e_2^0 + \dots + b_{j,f}^0 \cdot e_j^0 + \dots + b_{n,f}^0 \cdot e_n^0 &= \sum_{j=1}^n b_{j,f}^0 \cdot e_j^0 = c_f^0 \\ &\vdots \\ b_{1,p}^0 \cdot e_1^0 + b_{2,p}^0 \cdot e_2^0 + \dots + b_{j,p}^0 \cdot e_j^0 + \dots + b_{n,p}^0 \cdot e_n^0 &= \sum_{j=1}^n b_{j,p}^0 \cdot e_j^0 = c_p^0 \end{aligned}$$

gde je:

$$\begin{aligned} \varepsilon^0 &- \text{ niz brojeva paletnih sekvenci po obradnim centrima} \\ b_{j,f}^0 \cdot e_j^0 &- \text{ ukupan broj f-tog paletnog sadržaja koji se obrađuje na j-tom obradnom centru.} \end{aligned}$$

Drugim rečima, zbir broja paletnih sadržaja u svim paletnim sekvencama za sve obradne centre jednak je ukupnom broju paletnih sadržaja.

3. POTREBAN BROJ KOMPLETA ALATA

Na osnovu vremena obrade za svaki paletni sadržaj, dobija se vreme obrade jednog alata za paletnu sekvencu:

$$t_{j,i,h,d}^{ps} = \sum_{f=1}^p b_{j,f}^0 \cdot t_{j,i,h,d,f}^{pc} \quad (10)$$

gde je:

$$\begin{aligned} t_{j,i,h,d}^{ps} &- \text{ vreme obrade za paletnu sekvencu u d-toj varijaciji režima obrade za h-ti komplet alata za sve operacije u kojima se koristi alat na i-tom mestu u magacinu alata j-tog obradnog centra.} \\ t_{j,i,h,d,f}^{pc} &- \text{ vreme obrade za f-ti paletni sadržaj u d-toj varijaciji režima obrade za h-ti komplet alata za sve operacije u kojima se koristi alat na i-tom mestu u magacinu alata j-tog obradnog centra.} \end{aligned}$$

Tako se za sve alate u jednom magacinu alata, odnosno za jedan komplet alata dobija niz vremena obrade:

$$\theta_{j,h,d}^{ps} = \{t_{j,1,h,d}^{ps} \quad t_{j,2,h,d}^{ps} \quad \dots \quad t_{j,i,h,d}^{ps} \quad \dots \quad t_{j,m_j,h,d}^{ps}\}$$

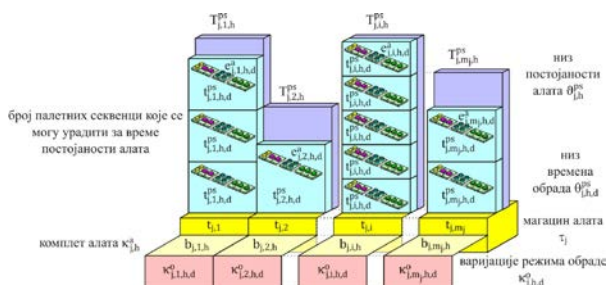
Broj paletnih sekvenci u čijim obradama se jedan alat može koristiti do istrošenja (sl.5.) se dobija kao ceo broj količnika postojanosti tog alata i ukupnog vremena obrade za paletnu sekvencu u svim operacijama u kojima se taj alat koristi, tj.

$$\begin{aligned} e_{j,1,h,d}^a &= INT \left(\frac{T_{j,1,h}^{ps}}{t_{j,1,h,d}^{ps}} \right) \\ e_{j,2,h,d}^a &= INT \left(\frac{T_{j,2,h}^{ps}}{t_{j,2,h,d}^{ps}} \right) \\ &\vdots \\ e_{j,i,h,d}^a &= INT \left(\frac{T_{j,i,h}^{ps}}{t_{j,i,h,d}^{ps}} \right) \\ &\vdots \\ e_{j,m_j,h,d}^a &= INT \left(\frac{T_{j,m_j,h}^{ps}}{t_{j,m_j,h,d}^{ps}} \right) \end{aligned} \quad (11)$$

gde je:

$$\begin{aligned} e_{j,i,h,d}^a &- \text{ broj paletnih sekvenci koje se mogu uraditi u d-toj varijaciji režima obrade za h-ti komplet alata za sve operacije u kojima se koristi alat na i-tom mestu u magacinu alata j-tog obradnog centra} \\ T_{j,i,h}^{ps} &- \text{ postojanost alata za alat u h-tom kompletu na i-tom mestu u magacinu alata j-tog obradnog centra,} \end{aligned}$$

Prema osnovnim karakteristikama proizvodnog procesa u fleksibilnom tehnološkom sistemu (izmena alata u magacinu alata obradnog centra se vrši istovremeno), izračunavanje broja paletnih sekvenci koje se mogu uraditi za vreme postojanosti jednog alata u magacinu omogućava izbor optimalnih parametara kompleta alata.



Sl.5. Prikaz broja paletnih sekvenci koje se mogu uraditi jednim alatom

Broj paletnih sekvenci u čijim obradama se može koristiti jedna konfiguracija alata je određen minimalnim brojem paletnih sekvenci u čijim obradama se jedan alat iz tog kompleta (11) može koristiti do istrošenja:

$$e_{j,h,d}^{pa} = \min\{e_{j,1,h,d}^a, e_{j,2,h,d}^a, \dots, e_{j,i,h,d}^a, \dots, e_{j,m_j,h,d}^a\}$$

ili

$$e_{j,h,d}^{pa} = \min_{1 \leq i \leq m_j} \left(INT \left(\frac{T_{j,i,h}^{ps}}{t_{j,i,h,d}^{ps}} \right) \right) \quad (12)$$

gde je:

$e_{j,h,d}^{pa}$ - broj paletnih sekvenci koje se mogu uraditi d-tom varijacijom režima obrade za h-ti komplet alata j-tog obradnog centra.

Zbir vremena obrade za sve alate u kompletu (magacinu) alata je vreme obrade za jednu paletnu sekvencu:

$$t_{j,h,d}^{ps_o} = \sum_{i=1}^{m_j} t_{j,i,h,d}^{ps}$$

Kada se dodaju vremena izračunata za NC program, odnosno paletni sadržaj, a to su vreme izmene palete, vreme izmene alata, vreme indeksiranja i vreme brzog hoda, dobija se vreme za obradu jedne paletne sekvence:

$$t_{j,h,d}^{ps} = t_{j,h,d}^{ps_o} + \sum_{f=1}^p b_{j,f}^0 \cdot (t_{izp} + t_{iza} + t_{ind} + t_{brz}).$$

Vreme obrade za broj paletnih sekvenci (sl.6.) u čijim obradama se može koristiti jedna konfiguracija alata (magacin alata) do istrošenja je:

$$t_{j,h,d}^{pa_o} = e_{j,h,d}^{pa} \cdot t_{j,h,d}^{ps_o}$$

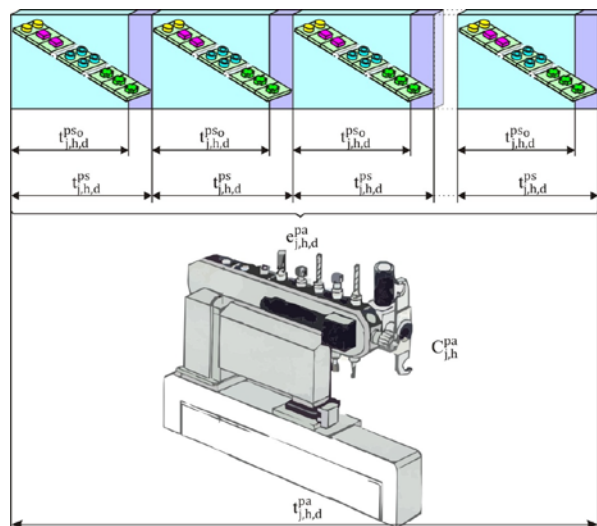
Vreme potrebno za obradu broja od $e_{j,h,d}^{pa}$ paletnih sekvenci je:

$$t_{j,h,d}^{pa} = e_{j,h,d}^{pa} \cdot t_{j,h,d}^{ps} \quad (13)$$

gde je:

$t_{j,h,d}^{ps_o}$ - vreme obrade jedne paletne sekvence u d-toj varijaciji režima obrade za h-ti

- $t_{j,h,d}^{ps}$ - komplet alata j-tog obradnog centra, ukupno vreme za obradu jedne paletne sekvence u d-toj varijaciji režima obrade za h-ti komplet alata j-tog obradnog centra,
- $t_{j,h,d}^{pa_o}$ - vreme obrade paletnih sekvenci u d-toj varijaciji režima obrade za h-ti komplet alata j-tog obradnog centra do istrošenja magacina alata,
- $t_{j,h,d}^{pa}$ - ukupno vreme za obradu paletnih sekvenci u d-toj varijaciji režima obrade za h-ti komplet alata j-tog obradnog centra do istrošenja magacina alata,
- $t_{j,i,h,d}^{ps}$ - vreme obrade za paletnu sekvencu u d-toj varijaciji režima obrade za h-ti komplet alata za sve operacije u kojima se koristi alat na i-tom mestu u magacinu alata j-tog obradnog centra,
- $b_{j,f}^0$ - broj komada f-tog paletnog sadržaja u jednoj paletnoj sekvenci za j-ti obradni centar,
- p - broj različitih paletnih sadržaja u paletnoj sekvenci,
- t_{izp} - vreme izmene paleta za NC program (paletni sadržaj),
- t_{iza} - vreme izmene alata za NC program (paletni sadržaj),
- t_{ind} - vreme indeksiranja za NC program (paletni sadržaj),
- t_{brz} - vreme brzog hoda za NC program (paletni sadržaj),



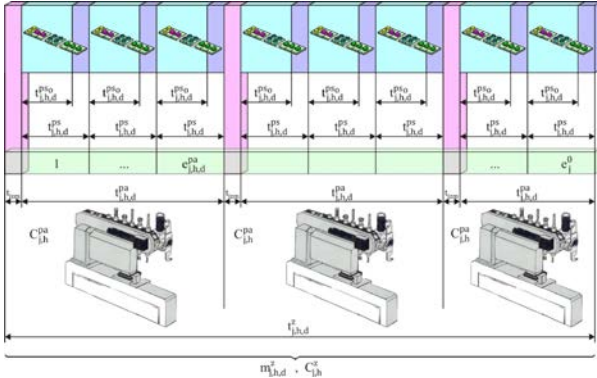
Sl.6. Broj paletnih sekvenci koje se mogu uraditi jednom varijacijom režima obrade za jedan komplet alata (magacin alata)

Broj kompleta (magacina) alata potreban za obradu zadatog broja paletnih sekvenci (sl.7.) za jedan obradni centar (9) je:

$$m_{j,h,d}^z = \begin{cases} \frac{e_j^0}{e_{j,h,d}^{pa}}, & \text{MOD} \left(\frac{e_j^0}{e_{j,h,d}^{pa}} \right) = 0 \\ \text{INT} \left(\frac{e_j^0}{e_{j,h,d}^{pa}} \right) + 1, & \text{MOD} \left(\frac{e_j^0}{e_{j,h,d}^{pa}} \right) > 0 \end{cases}, \quad (14)$$

dok je vreme obrade za taj broj paletnih sekvenci:

$$t_{j,h,d}^{zo} = e_j^0 \cdot t_{j,h,d}^{ps_o}$$



Sl.7. Broj konfiguracija alata (magacina alata) za obradu zadatog broja paletnih sekvenci za jedan obradni centar

Tada je vreme potrebno za obradu:

$$t_{j,h,d}^z = e_j^0 \cdot t_{j,h,d}^{ps} + m_{j,h,d}^z \cdot t_{izm}, \quad (15)$$

gde je:

- $m_{j,h,d}^z$ - niz brojeva paletnih sekvenci po obradnim centrima,
- e_j^0 - broj paletnih sekvenci za j-ti obradni centar,
- $e_{j,h,d}^{pa}$ - broj paletnih sekvenci koje se mogu uraditi d-tom varijacijom režima obrade za h-ti komplet alata j-tog obradnog centra,
- $t_{j,h,d}^{zo}$ - vreme obrade zadatog broja paletnih sekvenci u d-toj varijaciji režima obrade za h-ti komplet alata j-tog obradnog centra,
- $t_{j,h,d}^z$ - ukupno vreme za obradu zadatog broja paletnih sekvenci d-tom varijacijom režima obrade i h-tim kompletom alata j-tog obradnog centra,
- t_{izm} - vreme izmene magacina alata.

Na osnovu izračunatog broja paletnih sekvenci koje se mogu uraditi jednom varijacijom režima obrade za jedan komplet alata u magacinu obradnog centra je moguće izračunati koeficijente koji određuju stepen istrošenosti alata u magacinu.

4. PRIMERI IZBORA BROJA PALETNIH SEKVENCI

Fleksibilni tehnološki sistem konfigurisan od 3 obradna centra koristi se za obradu asortimana od 5 obradaka u serijama:

$$O = \begin{bmatrix} O_1 \\ O_2 \\ O_3 \\ O_4 \\ O_5 \end{bmatrix}, \quad \omega^0 = \begin{bmatrix} o_1^0 \\ o_2^0 \\ o_3^0 \\ o_4^0 \\ o_5^0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 150 \\ 200 \\ 250 \\ 300 \\ 350 \end{bmatrix}.$$

1. Paletni sadržaj se sastoji od jednog ili više istih obradaka, obrada se izvršava u jednom paletnom sadržaju (stezanju) sa matricom i nizom brojeva obradaka po paletama i matricom paletnih sadržaja:

$$D^0 = \begin{bmatrix} 3 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 3 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 2 \end{bmatrix}, \quad \delta^0 = \begin{bmatrix} 3 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 3 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 2 \end{bmatrix}, \quad C^0 = \begin{bmatrix} 3 \cdot O_1 \\ 2 \cdot O_2 \\ 1 \cdot O_3 \\ 3 \cdot O_4 \\ 2 \cdot O_5 \end{bmatrix}.$$

Tada su brojevi paletnih sadržaja:

$$c_1^0 = \frac{o_1^0}{d_{1,1}^0} = \frac{150}{3} = 50 \quad c_2^0 = \frac{o_2^0}{d_{2,2}^0} = \frac{200}{2} = 100$$

$$c_3^0 = \frac{o_3^0}{d_{3,3}^0} = \frac{250}{1} = 250 \quad c_4^0 = \frac{o_4^0}{d_{4,4}^0} = \frac{300}{3} = 100$$

$$c_5^0 = \frac{o_5^0}{d_{5,5}^0} = \frac{350}{2} = 175$$

odnosno:

$$e^0 = \begin{bmatrix} c_1^0 \\ c_2^0 \\ c_3^0 \\ c_4^0 \\ c_5^0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 50 \\ 100 \\ 250 \\ 100 \\ 175 \end{bmatrix}.$$

Matrica brojeva paletnih sadržaja u paletnim sekvencama je:

$$B^0 = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 8 & 4 & 6 \\ 2 & 6 & 9 & 3 & 6 \\ 3 & 2 & 8 & 2 & 5 \end{bmatrix},$$

a matrica ukupnog broja paletnih sekvenci po obradnim centrima je:

$$E^0 = [15 \quad 10 \quad 5],$$

Kako je:

$$E^0 \cdot B^0 = [c_1^0 \quad c_2^0 \quad c_3^0 \quad c_4^0 \quad c_5^0],$$

odnosno:

$$E^0 \cdot B^0 = [15 \quad 10 \quad 5] \cdot \begin{bmatrix} 1 & 2 & 8 & 4 & 6 \\ 2 & 6 & 9 & 3 & 6 \\ 3 & 2 & 8 & 2 & 5 \end{bmatrix},$$

to je:

$$c_1^0 = 1 \cdot 15 + 2 \cdot 10 + 3 \cdot 5 = 50$$

$$c_2^0 = 2 \cdot 15 + 6 \cdot 10 + 2 \cdot 5 = 100$$

$$c_3^0 = 8 \cdot 15 + 9 \cdot 10 + 8 \cdot 5 = 250$$

$$c_4^0 = 4 \cdot 15 + 3 \cdot 10 + 2 \cdot 5 = 100$$

$$c_5^0 = 6 \cdot 15 + 6 \cdot 10 + 5 \cdot 5 = 175$$

ili:

$$E^0 \cdot B^0 = [50 \quad 100 \quad 250 \quad 100 \quad 175].$$

2. Paletni sadržaj se sastoji od od jednog ili više istih obradaka, obrada se izvršava u više paletnih sadržaja (stezanja) sa matricom i nizom brojeva obradaka po paletama i matricom paletnih sadržaja:

$$D^0 = \begin{bmatrix} 3 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 4 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 5 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 3 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 5 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 2 \end{bmatrix}, \delta^0 = \begin{bmatrix} 3 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 4 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 5 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 3 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 5 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 2 \end{bmatrix}, C^0 = \begin{bmatrix} 3 \cdot O_1 \\ 2 \cdot O_1 \\ 4 \cdot O_2 \\ 5 \cdot O_3 \\ 2 \cdot O_3 \\ 1 \cdot O_3 \\ 3 \cdot O_4 \\ 5 \cdot O_5 \\ 2 \cdot O_5 \end{bmatrix}.$$

Tada su brojevi paletnih sadržaja:

$$c_1^0 = \frac{o_1^0}{d_{1,1}^0} = \frac{150}{3} = 50$$

$$c_2^0 = \frac{o_1^0}{d_{2,1}^0} = \frac{150}{2} = 75$$

$$c_3^0 = \frac{o_2^0}{d_{3,2}^0} = \frac{200}{4} = 50$$

$$c_4^0 = \frac{o_3^0}{d_{4,3}^0} = \frac{250}{5} = 50$$

$$c_5^0 = \frac{o_3^0}{d_{5,3}^0} = \frac{250}{2} = 125$$

$$c_6^0 = \frac{o_3^0}{d_{6,3}^0} = \frac{250}{1} = 250$$

$$c_7^0 = \frac{o_4^0}{d_{7,4}^0} = \frac{300}{3} = 100$$

$$c_8^0 = \frac{o_5^0}{d_{8,5}^0} = \frac{350}{5} = 50$$

$$c_9^0 = \frac{o_5^0}{d_{9,5}^0} = \frac{350}{2} = 175$$

odnosno:

$$\epsilon^0 = \begin{bmatrix} c_1^0 \\ c_2^0 \\ c_3^0 \\ c_4^0 \\ c_5^0 \\ c_6^0 \\ c_7^0 \\ c_8^0 \\ c_9^0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 50 \\ 75 \\ 50 \\ 50 \\ 125 \\ 250 \\ 100 \\ 50 \\ 175 \end{bmatrix}.$$

Matrica brojeva paletnih sadržaja u paletnim sekvencama je:

$$B^0 = \begin{bmatrix} 2 & 2 & 1 & 3 & 5 & 6 & 5 & 1 & 8 \\ 1 & 3 & 2 & 1 & 3 & 10 & 2 & 2 & 4 \\ 3 & 2 & 2 & 1 & 6 & 8 & 4 & 2 & 7 \end{bmatrix},$$

a matrica ukupnog broja paletnih sekvenci po obradnim centrima je:

$$E^0 = [10 \quad 15 \quad 5],$$

Kako je:

$$E^0 \cdot B^0 = [c_1^0 \quad c_2^0 \quad c_3^0 \quad c_4^0 \quad c_5^0 \quad c_6^0 \quad c_7^0 \quad c_8^0 \quad c_9^0],$$

odnosno:

$$E^0 \cdot B^0 = [10 \quad 15 \quad 5] \cdot \begin{bmatrix} 2 & 2 & 1 & 3 & 5 & 6 & 5 & 1 & 8 \\ 1 & 3 & 2 & 1 & 3 & 10 & 2 & 2 & 4 \\ 3 & 2 & 2 & 1 & 6 & 8 & 4 & 2 & 7 \end{bmatrix},$$

to je:

$$\begin{aligned} c_1^0 &= 2 \cdot 10 + 1 \cdot 15 + 3 \cdot 5 = 50 \\ c_2^0 &= 2 \cdot 10 + 3 \cdot 15 + 2 \cdot 5 = 75 \\ c_3^0 &= 1 \cdot 10 + 2 \cdot 15 + 2 \cdot 5 = 50 \\ c_4^0 &= 3 \cdot 10 + 1 \cdot 15 + 1 \cdot 5 = 50 \\ c_5^0 &= 5 \cdot 10 + 3 \cdot 15 + 6 \cdot 5 = 125 \\ c_6^0 &= 6 \cdot 10 + 10 \cdot 15 + 8 \cdot 5 = 250 \\ c_7^0 &= 5 \cdot 10 + 2 \cdot 15 + 4 \cdot 5 = 100 \\ c_8^0 &= 1 \cdot 10 + 2 \cdot 15 + 2 \cdot 5 = 50 \\ c_9^0 &= 8 \cdot 10 + 4 \cdot 15 + 7 \cdot 5 = 175 \end{aligned}$$

ili:

$$E^0 \cdot B^0 = [50 \quad 75 \quad 50 \quad 50 \quad 125 \quad 250 \quad 100 \quad 50 \quad 175].$$

3. Paletni sadržaj se sastoji od više različitih obradaka, obrada se izvršava u više paletnih sadržaja (stezanja) sa matricom i nizom brojeva obradaka po paletama i matricom paletnih sadržaja:

$$D^0 = \begin{bmatrix} 3 & 4 & 0 & 0 & 0 \\ 3 & 0 & 5 & 0 & 0 \\ 0 & 4 & 5 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 6 & 7 \\ 0 & 0 & 5 & 6 & 7 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 2 \end{bmatrix}, \delta^0 = \begin{bmatrix} 3 & 4 & 0 & 0 & 0 \\ 3 & 0 & 5 & 0 & 0 \\ 0 & 4 & 5 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 6 & 7 \\ 0 & 0 & 5 & 6 & 7 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 2 \end{bmatrix},$$

$$C^0 = \begin{bmatrix} 3 \cdot O_1 + 4 \cdot O_2 \\ 3 \cdot O_1 + 5 \cdot O_3 \\ 4 \cdot O_2 + 5 \cdot O_3 \\ 6 \cdot O_4 + 7 \cdot O_5 \\ 5 \cdot O_3 + 6 \cdot O_4 + 7 \cdot O_5 \\ 2 \cdot O_5 \end{bmatrix}.$$

Tada su brojevi paletnih sadržaja:

$$c_1^0 = \frac{o_1^0}{d_{1,1}^0} = \frac{o_2^0}{d_{1,2}^0} = \frac{150}{3} = \frac{200}{4} = 50$$

$$c_2^0 = \frac{o_1^0}{d_{2,1}^0} = \frac{o_3^0}{d_{2,3}^0} = \frac{150}{3} = \frac{250}{5} = 50$$

$$c_3^0 = \frac{o_2^0}{d_{3,2}^0} = \frac{o_3^0}{d_{3,3}^0} = \frac{200}{4} = \frac{250}{5} = 50$$

$$c_4^0 = \frac{o_4^0}{d_{4,4}^0} = \frac{o_5^0}{d_{4,5}^0} = \frac{300}{6} = \frac{350}{7} = 50$$

$$c_5^0 = \frac{o_3^0}{d_{5,3}^0} = \frac{o_4^0}{d_{5,4}^0} = \frac{o_5^0}{d_{5,5}^0} = \frac{250}{5} = \frac{300}{6} = \frac{350}{7} = 50$$

$$c_6^0 = \frac{o_5^0}{d_{6,5}^0} = \frac{350}{2} = 175$$

odnosno:

$$e^0 = \begin{Bmatrix} c_1^0 \\ c_2^0 \\ c_3^0 \\ c_4^0 \\ c_5^0 \\ c_6^0 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 50 \\ 50 \\ 50 \\ 50 \\ 50 \\ 175 \end{Bmatrix}.$$

Матрица бројева палетних садржаја у палетним секвенцама је:

$$B^0 = \begin{bmatrix} 5 & 2 & 1 & 1 & 3 & 3 \\ 1 & 2 & 1 & 1 & 1 & 6 \\ 1 & 1 & 3 & 3 & 2 & 7 \end{bmatrix},$$

а матрица укупног броја палетних секвенци по обрадним центрима је:

$$E^0 = [5 \quad 15 \quad 10],$$

Како је:

$$E^0 \cdot B^0 = [c_1^0 \quad c_2^0 \quad c_3^0 \quad c_4^0 \quad c_5^0 \quad c_6^0],$$

односно:

$$E^0 \cdot B^0 = [5 \quad 15 \quad 10] \cdot \begin{bmatrix} 5 & 2 & 1 & 1 & 3 & 3 \\ 1 & 2 & 1 & 1 & 1 & 6 \\ 1 & 1 & 3 & 3 & 2 & 7 \end{bmatrix},$$

то је:

$$c_1^0 = 5 \cdot 5 + 1 \cdot 15 + 1 \cdot 10 = 50$$

$$c_2^0 = 2 \cdot 5 + 2 \cdot 15 + 1 \cdot 10 = 50$$

$$c_3^0 = 1 \cdot 5 + 1 \cdot 15 + 3 \cdot 10 = 50$$

$$c_4^0 = 1 \cdot 5 + 1 \cdot 15 + 3 \cdot 10 = 50$$

$$c_5^0 = 3 \cdot 5 + 1 \cdot 15 + 2 \cdot 10 = 50$$

$$c_6^0 = 3 \cdot 5 + 6 \cdot 15 + 7 \cdot 10 = 175$$

или:

$$E^0 \cdot B^0 = [50 \quad 50 \quad 50 \quad 50 \quad 50 \quad 175].$$

5. ZAKLJUČAK

У постпроцесору генератору NC програма у флексибилном технолошком систему према задатом (преосталом) броју обрадака, односно задатом (преосталом) броју палетних садржаја који треба обрадити, дефинише се садржај и број палетних секвенци за сваки обрадни центар. Палетну секвенцу чини група палетних садржаја састављена од задатог броја палета које се обрађују на једном обрадном центру. Палете из те групе се транспортују до обрадног

центра по случајном распореду, чиме није нарушен концепт флексибилности.

6. LITERATURA

- [1] Лукић Љ. “Флексибилни технолошки системи”, Машински факултет Краљево, Краљево, 2008.
- [2] Koren Y., Heisel U., Jovane F., Moriawaki T., Pritschow G., Ulsoy G., Van Brusel K. “Reconfigurable Manufacturing Systems”, Annals of the CIRP Vol. 48/2/1999
- [3] Upton D.M. “A flexible structure for computer-controlled manufacturing systems”, Manufacturing Review / Vol. 5 (1), 1992.
- [4] Лукић Љ., Ивановић С. “Постпроцесор генератор CNC програма у флексибилним технологијама”, VIII међународна конференција ММА 2003, Флексибилне технологије, Нови Сад, 2003.
- [5] Ивановић С., Лукић Љ. “Пројектовање базе података из технолошких и кинематских параметара NC програма за производњу у флексибилном технолошком систему”, Шеста међународна научна конференција Тешка машиноградња ТМ’08, Матарушка Бања, 26.-29.06.2008.
- [6] Ивановић С., Лукић Љ., Петровић З. “Реконфигурисање базе података флексибилног производног система на основу параметара из NC програма”, ИМК-14 истраживање и развој, часопис института ИМК “14. Октобар” Крушевац, број (28-29) 1-2/2008, октобар 2008. УДК/УДЦ: 658.5:004.652
- [7] Ивановић С., Петровић З., Ђапић М., Лукић Љ. “Функционални модел постпроцесора генератора NC програма у флексибилном технолошком систему”, ИМК-14 истраживање и развој, часопис института ИМК “14. Октобар” Крушевац, број (30-31) 1-2/2009.
- [8] Ивановић С., Петровић З., Лукић Љ., Ђорђевић Љ. “Систем алата постпроцесора генератора NC програма у флексибилном технолошком систему”, ИМК-14 истраживање и развој, часопис института ИМК “14. Октобар” Крушевац, број (30-31) 1-2/2009.
- [9] Ивановић С., Лукић Љ. “Module for update of technological parameters in postprocessor generator of NC programs in flexible manufacturing system”, The Seventh Triennial International Conference Heavy Machinery НМ 2011, стр. Е.25-Е.30 (6 страна), Врњачка Бања, 29.06.-02.07.2011.
- [10] Sandvik Coromant “Main Catalogue”, 2008. www.coromant.sandvik.com