

STUDIUL INFLUENȚEI DISTRIBUȚIEI DURATELOR OPERAȚIILOR ASUPRA PRODUCTIVITĂȚII PROCESELOR DE PRODUCȚIE CU ORGANIZARE MIXTĂ

POPESCU Silvia - Emilia¹

Conducător științific: Șl.dr.ing. **Mădălin Gabriel CATANĂ**, Conf. dr. ing. **Sergiu TONOIU**

REZUMAT: Studiul are drept scop analiza corelației dintre modul de distribuție al duratelor operațiilor din cadrul unui proces de producție de serie multioperațional, cu formă de organizare mixtă, și productivitatea acestui proces, măsurată prin durata ciclului de producție. Acest studiu demonstrează că o distribuție crescătoare sau, respectiv, descrescătoare a duratelor operațiilor minimizează durata ciclului de producție al întregului lot de fabricație, dar și duratele ciclurilor de producție ale loturilor de transport din componența lotului de fabricație. Distribuția crescătoare a duratelor operațiilor din proces asigură, în plus, o robustețe mai mare a programului de producție de serie, prin existența unor posibilități mai mari de compensare a întârzierilor în producția loturilor de transport, astfel încât aceste întârzieri să nu afecteze durata ciclului de producție al lotului de fabricație.

CUVINTE CHEIE: proces de producție, organizare mixtă, productivitate proces.

1 INTRODUCERE

În producția de serie se poate fabrica o gamă relativ mare de produse, în mod periodic și în loturi de fabricație de mărime mică, mijlocie sau mare.

Organizarea mixtă se recomandă în producția de serie mijlocie sau serie mare. Ea permite desfășurarea succesivă și parțial paralelă a procesului de producție, conducând astfel la reducerea ciclului de producție.

Această formă de organizare se caracterizează prin aceea că transmiterea obiectelor muncii de la operația k la cea următoare, $k+1$, se face pe fracțiuni de lot, numite loturi de transport. Rezultatul obținut este reducerea ciclului de producție (Catană, 2016).

Desfășurarea parțial paralelă a fabricației implică unele decalaje minime în circulația obiectelor muncii. Aceste decalaje sunt necesare pentru completarea lotului de transport și începerea prelucrării la fiecare operație următoare.

În cazul organizării mixte, completarea lotului de transport este necesară ori de câte ori duratele operațiilor vecine se găsesc în relația (Neagu s.a., 2006): $T_{uk} < T_{uk+1}$.

unde:

T_{uk} – valoarea timpului unitar la operația k

T_{uk+1} – valoarea timpului unitar la operația $k+1$

În astfel de situații, se impune un decalaj între operațiile k și $k+1$, care se calculează cu relația (Neagu s.a., 2006), (Catană, 2016):

$$D_{k,k+1} = N_t * T_{uk} [\text{min}] \quad (1)$$

unde:

$D_{k,k+1}$ – decalajul dintre operația k și operația $k+1$

N_t – lotul de transport

Evitarea micropauzelor neproductive se realizează când duratele operațiilor vecine se găsesc în relația (Neagu s.a., 2006), (Catană, 2016): $T_{uk} > T_{uk+1}$.

În aceste cazuri, mărimea decalajului necesar se calculează cu relația (Neagu s.a., 2006):

$$D_{k,k+1} = N_t * T_{uk} - (N - N_t) * T_{uk+1} [\text{min}] \quad (2)$$

unde:

N – lotul de fabricație

În cazul organizării mixte, pot fi evidențiate două tipuri de cicluri:

- un ciclu al întregului lot de fabricație/producție, cu durata T_{cN} ; (Neagu s.a., 2006); (Catană, 2016)
- un ciclu pentru fiecare lot de transport, „I”, din lotul de fabricație T_{cNt} . (Baker și Trietsch, 2009); (Emmons și Vairaktarakis, 2013); (Sarin și Jaiprakash, 2007)

Durata componentei tehnologice a ciclului de producție se obține scăzând suprapunerea totală din durata corespunzătoare organizării succesive. În cazul cel mai general, se utilizează relația (Catană, 2016):

$$T_{cN} = N_t * \sum_{k=1}^n T_{uk} + (N - N_t) * \sum_{k=1}^n (T_{uk} - T_{uk+1})^+ [\text{min}] \quad (3)$$

unde:

T_{cN} – durata ciclului de producție
, cu următoarele precizări:

¹ Anul IV, Specializarea Inginerie Economică Industrială, Facultatea IMST; E-mail: emilia_199563@yahoo.com

Studiul influenței distribuției duratelor operațiilor asupra productivității proceselor de producție cu organizare mixtă

- la sfârșitul procesului tehnologic se adaugă o operație fictivă (de rang $n+1$), cu durata nulă ($T_{un+1} = 0$);
- se iau în considerare numai diferențele de timp pozitive, adică cele care îndeplinesc condiția: $(T_{uk} - T_{uk+1}) > 0$.

Productivitatea proceselor de producție poate fi măsurată prin mărimea duratei ciclului de producție, T_{cN} .

Mărimea ciclului de producție (T_{cN}) poate să difere chiar dacă procesele au același volum de muncă total ($V_m = \sum T_{uk}$), în cazul aplicării formei de organizare mixte (la procesele de serie mijlocie sau serie mare).

Astfel, se pune problema proiectării proceselor cu o distribuție a duratelor operațiilor care să minimizeze T_{cN} .

Observând relația de calcul a duratei ciclului de producție rezultă ca două procese de fabricație care au același conținut de muncă, adică aceeași sumă a timpilor unitari ai operațiilor, ar putea să aibă productivități diferite, adică durate diferite ale ciclurilor de producție în cazul organizării mixte în funcție de distribuția acelor timpi unitari.

Pornind de la această observație, se prezintă, în continuare, analiza distribuțiilor optime pe care ar trebui să le aibă timpii unitari ai operațiilor în vederea maximizării productivității procesului de producție cu organizare mixtă.

2 INFLUENȚA DISTRIBUȚIEI DURATELOR OPERAȚIILOR ASUPRA PRODUCTIVITĂȚII PROCESULUI

Se vor analiza modificările duratei componente tehnologice a ciclului de producție în următoarele cazuri de variație a timpilor unitari ai operațiilor procesului tehnologic:

- distribuție crescătoare a timpilor unitari (T_{uk});
- distribuție descrescătoare a timpilor unitari (T_{uk});
- distribuție aleatoare a timpilor unitari (T_{uk}).

2.1 INFLUENȚA ASUPRA PRODUCTIVITĂȚII REALIZĂRII LOTULUI DE FABRICAȚIE

Se considerășirul de numere pozitive, crescătoare: $a_1, a_2, a_3, \dots, a_n$.

unde:

n – numărul operațiilor din proces.

Deoarece termenii $N_t * \sum_{k=1}^n T_{uk}$ și $(N - N_t)$ din relația (3) a duratei ciclului de producție (T_{cN}) nu depind de distribuția duratelor operațiilor (T_{uk}) din proces, se va studia aceasta influență a duratelor operațiilor pentru termenul $\sum_{k=1}^n (T_{uk} - T_{uk+1})^+$.

Cazul I: Distribuție crescătoare a duratelor operațiilor din proces, adică:

$$T_{u1} = a_1; T_{u2} = a_2; \dots; T_{un} = a_n.$$

Astfel, valoarea termenului $\sum_{k=1}^n (T_{uk} - T_{uk+1})^+$ este următoarea:

$$\sum_{k=1}^n (T_{uk} - T_{uk+1})^+ = \underbrace{(T_{u1} - T_{u2})}_0 + \underbrace{(T_{u2} - T_{u3})}_0 + \dots + \underbrace{(T_{un} - T_{un+1})}_0 = T_{un} = a_n [\text{min}] \quad (4)$$

Cazul II: Distribuție descrescătoare a duratelor operațiilor din proces, adică:

$$T_{u1} = a_n; T_{u2} = a_{n-1}; \dots; T_{un} = a_1.$$

Astfel, valoarea termenului $\sum_{k=1}^n (T_{uk} - T_{uk+1})^+$ este următoarea:

$$\sum_{k=1}^n (T_{uk} - T_{uk+1})^+ = \underbrace{(T_{u1} - T_{u2})}_{\geq 0} + \underbrace{(T_{u2} - T_{u3})}_{\geq 0} + \dots + \underbrace{(T_{un} - T_{un+1})}_0 = T_{u1} = a_n [\text{min}] \quad (5)$$

Cazul III: Distribuție aleatoare a duratelor operațiilor din proces:

- Se consideră următoarea distribuție aleatoare obținută prin relocarea unui termen dintr-o distribuție crescătoare:

$$T_{u_k}: a_1, a_2, a_3, \dots, a_{k-1}, a_{k-j}, a_k, a_{k+1}, \dots, a_{k+j}, \dots, a_n \quad (j > 1)$$

Astfel, valoarea termenului $\sum_{k=1}^n (T_{uk} - T_{uk+1})^+$ este următoarea:

$$\sum_{k=1}^n (T_{uk} - T_{uk+1})^+ = \underbrace{(a_1 - a_2)}_0 + \underbrace{(a_2 - a_3)}_0 + \dots + \underbrace{(a_{k-1} - a_{k-j})}_{\geq 0} + \underbrace{(a_{k-j} - a_k)}_0 + (a_n - 0) = a_n + a_{k-1} - a_{k-j} > a_n [\text{min}] \quad (6)$$

- Se consideră următoarea distribuție aleatoare obținută prin relocarea unui termen dintr-o distribuție descrescătoare:

$$T_{u_k}: a_n, a_{n-1}, a_{n-2}, \dots, a_k, a_{k-j}, a_{k-1}, \dots, a_1 \quad (j > 1)$$

Astfel, valoarea termenului $\sum_{k=1}^n (T_{uk} - T_{uk+1})^+$ este următoarea:

$$\sum_{k=1}^n (T_{uk} - T_{uk+1})^+ = \underbrace{(a_n - a_{n-1})}_{\geq 0} + \underbrace{(a_{n-1} - a_{n-2})}_{\geq 0} + \dots + \underbrace{(a_k - a_{k-j})}_{\geq 0} + \dots$$

$$\frac{(a_{k-j} - a_{k-1})}{0} + \frac{(a_{k-1} - a_{j/2})}{\geq 0} + \dots + \frac{(a_{j/2} - a_j)}{\geq 0} + (a_j - 0) = a_n + a_{k-1} - a_{k-j} > a_n$$

[min] (7)

Se poate observa că valoarea duratei ciclului de producție, T_{cN} este minimă pentru distribuții crescătoare sau descrescătoare ale T_{uk} .

$$T_{cN}^{min} = N_t * \sum_{k=1}^n T_{uk} + (N - N_t) * T_{uk}^{max} \text{ [min]} \quad (8)$$

În continuare, se verifică influența celor două distribuții asupra duratei ciclurilor de producție ale loturilor de transport. Durata ciclului de producție a unui lot de transport se consideră ca fiind intervalul de timp dintre începutul fabricației lotului la prima operație din proces și sfârșitul fabricației lotului la ultima operație din proces.

2.2 INFLUENȚA ASUPRA PRODUCTIVITĂȚII REALIZĂRII LOTURILOR DE TRANSPORT

Se consideră loturile de transport: 1, 2, ..., l, ..., n_t, care formează lotul de fabricație (n_t = $\frac{N}{N_t}$). Durata ciclului de producție al lotului de transport „l” se determină în cele două cazuri de distribuție a timpilor unitari (crescătoare și descrescătoare).

Cazul I: Distribuție crescătoare a duratei operațiilor din proces, prezentată grafic în figura 1:

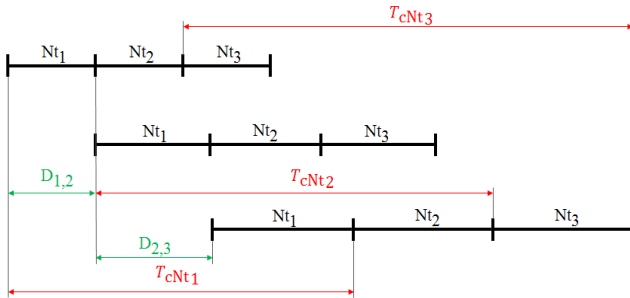


Fig. 1. Programul de realizare a loturilor de transport în cazul unei distribuții crescătoare a duratei operațiilor din proces

$$T_{cNt1} = \sum_{k=1}^{n-1} D_{k,k-1} + N_t * T_{u_n} = N_t * T_{u_1} - (N - N_t) * T_{u_2} + N * T_{u_2} - (N - N_t) * T_{u_3} + \dots + N * T_{u_{n-1}} - (N - N_t) * T_{u_n} + N_t * T_{u_n} = N_t * \sum_{k=1}^n T_{uk} \text{ [min]} \quad (9)$$

$$T_{cNt2} = T_{cNt1} + N_t * T_{u_n} - N_t * T_{u_1} > T_{cNt1} \text{ [min]} \quad (10)$$

$$T_{cNt3} = T_{cNt2} + N_t * T_{u_n} - N_t * T_{u_1} = T_{cNt1} + (3 - 1) * N_t * (T_{u_n} - T_{u_1}) > T_{cNt2} \text{ [min]} \quad (11)$$

Generalizând, se obține următoarea relație pentru lotul de transport „l”:

$$T_{cNtl} = T_{cNt1} + (l - 1) * N_t * (T_{u_n} - T_{u_1}) = N_t * \sum_{k=1}^n T_{uk} + (l - 1) * N_t * (T_{u_n} - T_{u_1}) \text{ [min]} \quad (12)$$

Astfel, ierarhizarea duratei ciclurilor de producție ale loturilor de transport este următoarea:

$$T_{cNt1} < T_{cNt2} < T_{cNt3} < \dots < T_{cNtl} < \dots < T_{cNtn_t}$$

Rezultă că, durata minimă a ciclului de producție a loturilor de transport este următoarea:

$$T_{cNt}^{min} = N_t * \sum_{k=1}^n T_{uk} \text{ [min]} \quad (13)$$

Cazul II: Distribuție descrescătoare a duratei operațiilor din proces, prezentată grafic în figura 2:

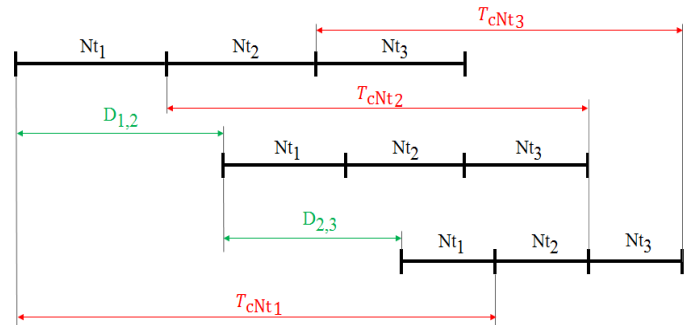


Fig.2. Programul de realizare a loturilor de transport în cazul unei distribuții descrescătoare a duratei operațiilor din proces

$$T_{cNt1} = \sum_{k=1}^{n-1} D_{k,k-1} + N_t * T_{u_n} = N * T_{u_1} - (N - N_t) * T_{u_2} + N * T_{u_2} - (N - N_t) * T_{u_3} + \dots + N * T_{u_{n-1}} - (N - N_t) * T_{u_n} + N_t * T_{u_n} = N_t * \sum_{k=1}^n T_{uk} + (N - N_t) * (T_{u_1} - T_{u_n}) \text{ [min]} \quad (14)$$

$$T_{cNt2} = T_{cNt1} + N_t * T_{u_n} - N_t * T_{u_1} < T_{cNt1} \text{ [min]} \quad (15)$$

$$T_{cNt3} = T_{cNt2} + N_t * T_{u_n} - N_t * T_{u_1} = T_{cNt1} + (3 - 1) * N_t * (T_{u_n} - T_{u_1}) < T_{cNt2} \text{ [min]} \quad (16)$$

Generalizând, se obține următoarea relație pentru lotul de transport „l”:

$$T_{cNtl} = T_{cNt1} + (l - 1) * N_t * (T_{u_n} - T_{u_1}) = N_t * \sum_{k=1}^n T_{uk} + (l - 1) * N_t * (T_{u_n} - T_{u_1}) \text{ [min]} \quad (17)$$

$$T_{cNtn_t} = N_t * \sum_{k=1}^n T_{uk} + (N - N_t) * (T_{u_1} - T_{u_n}) = N_t * \sum_{k=1}^n T_{uk} \text{ [min]} \quad (18)$$

Astfel, ierarhizarea duratei ciclurilor de producție ale loturilor de transport este următoarea:

$$T_{cNt1} > T_{cNt2} > T_{cNt3} > \dots > T_{cNtl} > \dots > T_{cNtn_t}$$

Rezultă că, durata minimă a ciclului de producție a loturilor de transport este următoarea:

$$T_{cNt}^{min} = N_t * \sum_{k=1}^n T_{uk} \text{ [min]} \quad (19)$$

Sintetizând, rezultă că în cele două cazuri, cele n_t loturi de transport vor avea aceleași durate ale ciclurilor, distribuția acestor durate fiind inversată.

Mai departe, se va verifica influența celor două distribuții asupra rezervelor de timp ale loturilor de transport la operația k.

2.3 INFLUENȚA ASUPRA ROBUSTEȚII PROGRAMULUI DE PRODUCȚIE DE SERIE

Rezerva de timp a lotului de transport la operația k reprezintă intervalul de timp dintre sfârșitul fabricației lotului la operația k și începutul fabricației aceluiași lot la operația k+1.

Cazul I: Distribuție crescătoare a duratelor operațiilor din proces, prezentată grafic în figura 3, presupune următoarele valori pentru rezervele de timp ale loturilor de transport:

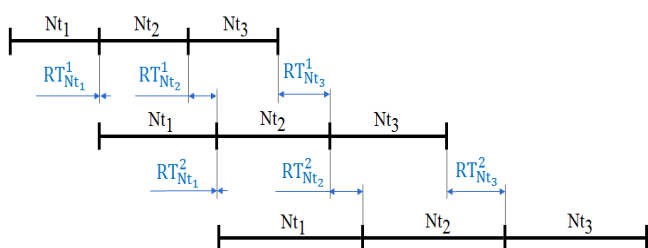


Fig. 3. Rezervele de timp ale loturilor de transport în cazul unei distribuții crescătoare a duratelor operațiilor din proces

$$RT_{Nt_1}^k = 0; \text{ [min]} \quad (20)$$

$$RT_{Nt_2}^k = N_t * (T_{uk+1} - T_{uk}); \text{ [min]} \quad (21)$$

$$RT_{Nt_l}^k = N_t * (l - 1) * (T_{uk+1} - T_{uk}). \text{ [min]} \quad (22)$$

Astfel, ierarhizarea duratelor rezervelor de timp ale loturilor de transport este următoarea:

$$RT_{Nt_1}^k \leq RT_{Nt_2}^k \leq RT_{Nt_l}^k \leq \dots \leq RT_{Nt_{n_t}}^k \quad (23)$$

Cazul II: Distribuție descrescătoare a duratelor operațiilor din proces, prezentată grafic în figura 4, presupune următoarele valori pentru rezervele de timp ale loturilor de transport:

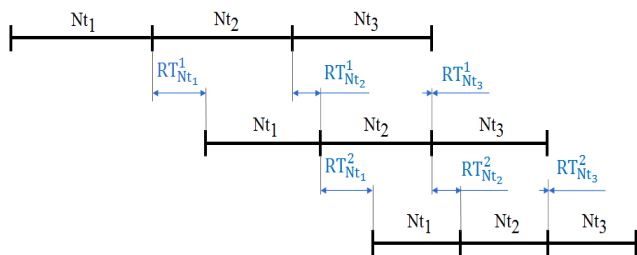


Fig. 4. Rezervele de timp ale loturilor de transport în cazul unei distribuții descrescătoare a duratelor operațiilor din proces

$$RT_{Nt_{n_t}}^k = 0; \text{ [min]} \quad (20)$$

$$RT_{Nt_{n_t-1}}^k = N_t * (T_{uk} - T_{uk+1}); \text{ [min]} \quad (21)$$

$$RT_{Nt_l}^k = N_t * (n_t - l) * (T_{uk} - T_{uk+1}). \text{ [min]} \quad (22)$$

Astfel, ierarhizarea duratelor rezervelor de timp ale loturilor de transport este următoarea:

$$RT_{Nt_1}^k \geq RT_{Nt_2}^k \geq RT_{Nt_l}^k \geq \dots \geq RT_{Nt_{n_t}}^k \quad (23)$$

În cele două cazuri se obțin aceleași rezerve de timp ale loturilor de transport, însă cu distribuție inversă a mărimilor.

3 CONCLUZII

Prin urmare, în funcție de rezultatele calculului de mai sus, se poate afirma că o durată minimă a componentei tehnologice a ciclului de producție se obține doar în cazul unei distribuții crescătoare sau în cazul unei distribuții descrescătoare a duratelor timpilor unitari ai operațiilor din proces. O durată minimă a ciclului de producție conduce la minimizarea costurilor de producție implicate.

În privința duratelor rezervelor de timp aferente loturilor de transport este recomandat ca acestea să fie crescătoare (cazul I fiind cel prielnic) deoarece spre sfârșitul procesului de producție pot apărea stări de oboseală ale operatorilor, precum și dereglări în funcționarea utilajelor, acestea presupunând necesitatea unor mai mari durate ale rezervelor de timp.

4 BIBLIOGRAFIE

- [1]. Baker, K. și Trietsch, D. (2009), *Principles of Sequencing and Scheduling*, John Wiley & Sons, Hoboken, New Jersey.
- [2]. Catană, M. (2016), *Production and operations management: course notes*, POLITEHNICA PRESS, București.
- [3]. Emmons, H. și Vairaktarakis, G. (2013), *Flow Shop Scheduling: Theoretical Results, Algorithms, and Applications*, Springer Science+Business Media, New York.
- [4]. Neagu, C., Nițu, E., Melnic, L. și Catană, M. (2006), *Ingineria și managementul producției: Bazele teoretice*, E.D.P. R.A., București.
- [5]. Sarin, S.C. și Jaiprakash, P. (2007), *Flow Shop Lot Streaming*, Springer Science+Business Media, New York.