

Zygmunt Orłowski  
Politechnika Białostocka

#### ANALIZA ZDOLNOŚCI PRODUKCYJNEJ PODSTAWOWYCH PROCESÓW PRODUKCYJNYCH

Streszczenie. W artykule autor przedstawia metodę obliczania zdolności produkcyjnej linii technologicznej z podaniem pewności jej dotrzymania.

#### 1. Założenia wstępne

1.1. Określenie zdolności produkcyjnej podstawowych procesów produkcyjnych.

Przystępując do sterowania procesami produkcyjnymi niezbędna jest znajomość potencjalnych zdolności produkcyjnych tychże procesów.

Zdolność produkcyjną w przemyśle prefabrykatów betonowych kształtują procesy podstawowe. Wydajność procesu podstawowego jest równoznaczna z wydajnością całego procesu scalonego. Wielkością wyjściową do wyznaczenia zdolności procesu produkcyjnego jest jego moc produkcyjna.

Moc produkcyjna danego procesu produkcyjnego jest to teoretycznie określona ilość wyprodukowanych w tym procesie wyrobów w jednostce czasu przy założeniu pełnej niezawodności jego funkcjonowania. Wartość mocy produkcyjnej danego procesu jest wielkością stałą.

$$M = \text{const} \quad /1/$$

W praktyce ilość wyprodukowanych wyrobów w jednostce czasu jest mniejsza niż to wynika z wielkości  $M$ . Mniejsza wydajność spowodowana jest przerwami i zakłóceniami powstałymi w trakcie trwania procesu. Tę "nową moc" osiągniętą w konkretnych organizacyjnych i technologicznych warunkach linii technologicznej nazywa się zdolnością produkcyjną procesu -  $Z$ . Ponieważ zakłócenia procesu produkcyjnego mają charakter losowy, również i wielkość zdolności produkcyjnej jest zmienną losową.

Istniejące metody wyznaczania zdolności produkcyjnej procesów pomijają znaczenie wielkości liczbowej niezawodności tychże procesów. Wartość tej zdolności określano, mnożąc moc produkcyjną przez współczynniki korygujące.

$$Z = M \cdot k \left[ \frac{j, f, \text{ szt, } m^3, m^2}{h, \text{ zmiana}} \right] \quad /2/$$

gdzie:  $k$  - współczynnik korygujący, uwzględniający przeciętne dla warunków krajowych czynniki zakłócające.

Podczas ustalania wartości zdolności produkcyjnej procesu niezbędnym jest - wg autora - podawanie prawdopodobieństwa jej uzyskania przez dany

zakład. Znajomość niezawodności ma podstawowe znaczenie na sterowanie produkcją danej linii technologicznej. Brak prawdopodobieństwa wykonania powoduje, że podczas planowania produkcji nie jesteśmy w stanie określić /przewidzieć/ wrażliwości tego planu na dezaktualizację.

Miarą niezawodności  $P_{(z)}$  zdolności produkcyjnej procesu jest prawdopodobieństwo otrzymania zdolności produkcyjnej  $Z$  nie mniejszej od zaplanowanej  $z$ , czyli

$$P_{(z)} = P(Z \leq z) \quad /3/$$

Zdolność produkcyjna procesu jest to ilość wyprodukowanych wyrobów w jednostce czasu, w konkretnych warunkach technologicznych i organizacyjnych danego procesu, uzyskiwana przez wykonawcę z prawdopodobieństwem  $P_{(z)} = CC$

## 2. Model przedmiotowo-potokowy organizacji procesu produkcyjnego

### 2.1. Linie o sztywnym powiązaniu komórek międzyoperacyjnych

Metoda przedmiotowo-potokowa /taśmowa/ organizacji procesu produkcyjnego [2] polega na tym, że jednskowe lub technologicznie podobne przedmioty produkcji są przemieszczane w kolejności technologicznej przez różne stacjonarne stanowiska robocze wyposażone w specjalistyczne środki techniczne i obsługiwane przez specjalistyczne brygady robocze. Na stanowiskach tych wykonywane są określone operacje produkcyjne.

W zależności od stopnia sztywności powiązań jednostek organizacyjnych wyróżnia się dwa warianty powiązań: sztywny i półsztywny. Sztywne powiązanie komórek produkcyjnych determinuje ten sam termin rozpoczęcia i zakończenia wszystkich operacji. Związki te są uwarunkowane rozwiązaniem mechanicznym transportu form, ustalającym jednoczesny ich przesuw o jeden moduł, równy odległości osi stanowisk produkcyjnych.

Linie technologiczne o sztywnym powiązaniu komórek produkcyjnych przeznaczone są do masowej produkcji jednego typu elementów prefabrykowanych.

Probabilistyczną oceną wydajności tego typu procesów produkcyjnych podana jest w pracy J. Biernackiego [1].

W zakładach prefabrykacji, linie te, mimo licznych prób nie znalazły trwałego zastosowania, ze względu na stosunkowo niską ich zdolność produkcyjną. Do podstawowych przyczyn tych niepowodzeń należą:

- niejednakowy stopień mechanizacji poszczególnych operacji. Część operacji ma wysoki stopień zmechanizowania, ich czasy trwania charakteryzują się małą dyspersją, część zaś jest wykonywana przy znacznym udziale pracy ręcznej - rozkład ich czasów trwania ma dużą dyspersję - co w konsekwencji wpływa na znaczne zmniejszenie niezawodności systemu,
- zawodność środków technicznych, wchodzących w skład komórek produkcyj-

nych,

- zmienność asortymentu,
- zła jakość materiałów stosowanych do produkcji,
- niska dyscyplina załogi.

## 2.2. Linie o pólshywnym powiązaniu komórek produkcyjnych

Pólshywne powiązanie komórek produkcyjnych polega na "sztywnej" kolejności przebiegu form ale bez ścisłego czasowego związania terminu wykonania operacji przez wszystkie komórki linii. To luźne powiązanie czasowe komórek uzyskuje się przez zastosowanie:

- wolnych przestrzeni magazynowania międzyoperacyjnego,
- brygad kompleksowych do obsługi wydzielonych stanowisk,
- zastosowanie niezależnego transportu /lub napędu/ form w ramach każdej komórki lub między komórkami.

Powyższe rozwiązania wpływają na wzrost stabilności linii a tym samym wzrost jej niezawodności.

Zastosowanie magazynu międzyoperacyjnego pozwoli na "przesunięcie" pewnej ilości pracy z stanowiska poprzedzającego na międzyoperacyjne.

Załóżmy, że na  $i$ -tym stanowisku po  $k$ -tym przesunięciu taśmy powstała sytuacja, kiedy w wyniku zakłóceń czas trwania operacji  $T_k$  przewyższył czas dopuszczalny ( $T_k > r$ ) o  $\Delta t_k$

$$T_k - r = \Delta t_k \quad /4/$$

Kolejne ( $k + 1$ ) przesunięcie taśmy winno nastąpić po okresie  $r$  niezależnie od powstałej sytuacji. Część prac, która nie została wykonana, zostanie przeniesiona na stanowisko międzyoperacyjne. Kompensacja zakłócenia nastąpi wówczas, gdy:

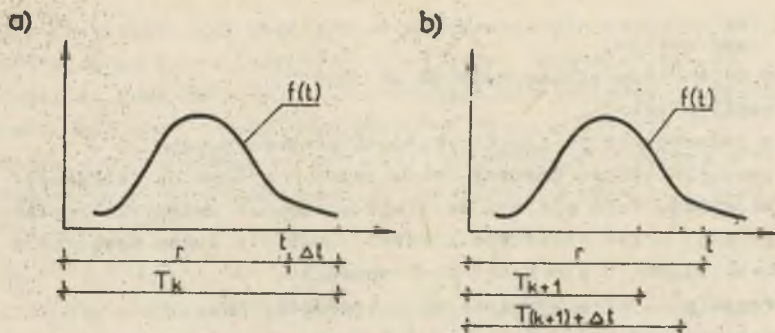
$$\Delta t + T_{(k+1)} \leq r \iff T_k + T_{(k+1)} \leq 2r \quad /5/$$

W przypadku gdy warunek (5.15) nie będzie spełniony nastąpi przestój taśmy.

Interpretację graficzną "przesuwania robót" pokazano na rysunku nr 1.

Inną metodą otrzymania wzrostu stabilności linii jest utworzenie do obsługi pewnej wydzielonej liczby stanowisk tzw. brygady kompleksowej. Każdy członek danej brygady jest w stanie obsługiwać poszczególne stanowiska. Często zestaw stanowisk, które obsługuje brygada kompleksowa ma niezależny transport.

Jak wynika z badań [3,4] wykorzystanie czasu na poszczególnych stanowiskach linii jest zróżnicowane, tzn. na kilku stanowiskach czas trwania operacji  $T_i \approx r$ , na innych zaś  $T_k \ll r$ . Wynika to z faktu, że trudno jest podzielić proces na operacje o identycznej pracochłonności, tym bardziej na liniach wytwarzających zróżnicowany asortyment produkcji. Inną cechą występującą w stosowanych u nas liniach jest duży rozrzut czasu trwania operacji. Powodem tego zjawiska jest niski stopień zmecha-



Rys. 1. Interpretacja graficzna "przesuwanie robót", a/ sytuacja po k-tym przesunięciu, b/ sytuacja po k + 1 przesunięciu.

Illustration 1. Graphical interpretation of "work displacement", a/ after "k" displacement, b/ after "k + 1" displacement.

nizowania stanowisk pracy /znaczący udział pracy ręcznej/.

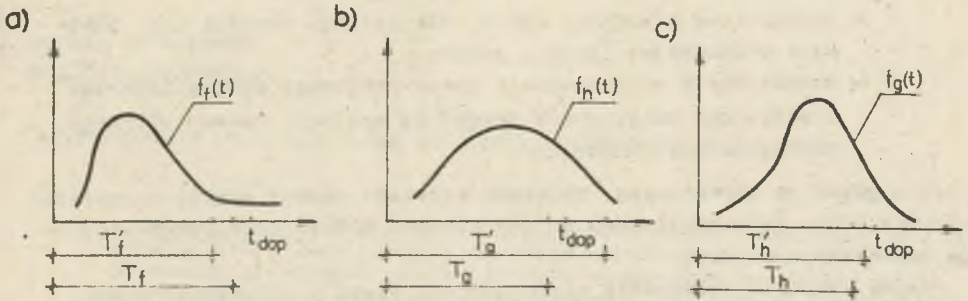
Brygada kompleksowa obsługuje kilka wydzielonych stanowisk. Brak członków obsługi w którejś z komórek produkcyjnych uzupełnia się przez przesunięcie części załogi z innych stanowisk. W przypadku wystąpienia w jednym ze stanowisk  $T_{\pm} > r$  część pracy można "przenieść" na następne stanowisko - o ile technologicznie jest to możliwe. Zastosowanie brygady kompleksowej powoduje wyrównanie czasów we wszystkich obsługiwanych stanowiskach.

Załóżmy, że kolejne operacje procesu wykonywane są na trzech stanowiskach f, g, h. Pracownicy obsługujący komórki produkcyjne nie współpracują ze sobą. Czasy trwania operacji na poszczególnych stanowiskach wynoszą  $T_f$ ,  $T_g$  i  $T_h$ . Jeśli stanowiska te są obsługiwane przez brygadę kompleksową, wówczas czasy trwania poszczególnych operacji są wyrównane i wynoszą:

$$T_f = T_g = T_h = \frac{T_f + T_g + T_h}{3} \quad /6/$$

Interpretację graficzną powyższej sytuacji pokazano na rysunku nr 2. Linie technologiczne zorganizowane wg przedmiotowo-potokowej metody produkcji w zdecydowanej większości mają szeregową strukturę niezawodnościową.

Rozkłady prawdopodobieństwa czasu trwania poszczególnych operacji mają różnorodny charakter i nie mogą być opisane jednym rodzajem funkcji. Dlatego też ustalenie niezawodności linii o pólzstynym powiązaniu komórek produkcyjnych metodą analityczną jest dosyć kłopotliwe. Do rozwiązania tego zagadnienia proponuje się zastosować symulację.



Rys. 2. Interpretacja graficzna czasów trwania operacji na stanowiskach f, g, h.

Illustration 2. Graphical interpretation of process duration on f, g, and h stands.

Punktem wyjściowym są następujące dane:

- empiryczne funkcje gęstości prawdopodobieństwa  $f(t)$  dla zmiennych losowych opisujących czasy trwania poszczególnych operacji i ich dystrybuanty  $F(t)$ ,
- liczba operacji rozpatrywanego procesu z wyszczególnieniem magazynów międzyoperacyjnych oraz operacji, które są obsługiwane przez brygadę kompleksową.

Symulacja będzie tu polegała /szczeg. algorytm pbz.4. / na losowaniu liczb dwucyfrowych ze zbioru liczb losowych i porównywaniu ich z rzędnymi dystrybuanty otrzymanej z badań. W ten sposób dla kolejnych operacji rozpatrywanego procesu wyznaczamy czasy ich trwania -  $T_i$ . Wartości  $T_i$  operacji posiadających magazyny międzyoperacyjne oraz operacji obsługiwanych przez brygady kompleksowe ustalamy wg wzorów: /5/ i /6/.

Po przeprowadzeniu wielu eksperymentów symulacyjnych ustalamy procentową ilość procesów symulacyjnych, w których został przekroczony rytm

$$T_1 > r.$$

Niezawodność linii ustalamy wg wzoru:

$$R_L(z) = 1 - \frac{n_1}{n} \tag{7}$$

gdzie:  $n_1$  - liczba eksperymentów symulacyjnych /procesów produkcyjnych/, w których  $T_1 > r$

$n$  - całkowita liczba eksperymentów

Zdolność produkcyjną oddziały obliczamy wg wzoru:  $3, 2$

$$Z = \frac{w}{r} \cdot T \cdot S_w \tag{8}$$

[  $\frac{j \cdot f., szt, n^3, m^2}{zmiana}$  ]

/8/

- gdzie:  $w$  - wielkość produkcji uzyskiwanej z jednego zaformowania /np. ilość elementów w formie/,  
 $T$  - jednostkowy przedział czasu, dla którego określa się zdolność produkcyjną [godz., zmiana]  
 $S_w$  - współczynnik wykorzystania czasu roboczego będący ilorazem efektywnego czasu pracy бригад do ogólnego czasu roboczego jednej zmiany / $B$  godz./

Ze względu na ograniczoną objętość artykułu podano metodę określania zdolności linii technologicznej na przykładzie modelu podmiotowo-potokowego organizacji procesu.

Podany algorytm obliczania niezawodności linii<sup>z</sup> powodzeniem można stosować do innych modeli organizacji produkcji.

#### LITERATURA

- [1] Biernacki J.: Probabilistyczna ocena wydajności złożonych szeregowych procesów produkcyjnych nie posiadających magazynowania międzyoperacyjnego. Politechnika Krakowska 1976.
- [2] Cieszyński K. i inni.: Przemysłowa produkcja prefabrykatów. Procesy podstawowe w produkcji prefabrykatów betonowych. PWN, Warszawa 1987.
- [3] Kapliński O.: Harmonizacja cyklicznych procesów budowlanych w ujęciu stochastycznym. Politechnika Poznańska 1978.
- [4] Jaworski K.M., Orłowski Z.: Badania cyklu i rytmu produkcyjnego w wytwórni prefabrykatów z uwzględnieniem warunków losowych. Przegląd Budowlany nr 12/86.

#### ANALYSIS OF PROCESS LINES PRODUCTIVITY IN PREFABRICATED PRODUCTS FACTORIES

##### Summary

The author presents the method of calculation process line productivity with defining probability of its sureness.

#### АНАЛИЗ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ЛИНИИ НА ЗАВОДАХ Ж.Б.И.

##### Резюме

В статье автор представляет метод вычисления производительности технологических линии с учётом надёжности её додержания.

Wpłynęło do Redakcji 20.03.1988 r.