

Jolanta Szadkowska-Skrzypiciel

Politechnika Krakowska

## SYMULACJA SYSTEMÓW PRODUKCYJNYCH O NIEUSTALONYM PROFILU PRODUKCJI

Streszczenie. Przedstawiono możliwość wykorzystania metody symulacji cyfrowej i algorytmu sieciowego do badania procesu produkcyjnego w przypadku nieustalonego profilu produkcyjnego. Pokazano, że obliczenia symulacyjne są pomocne w podejmowaniu decyzji odnośnie do ustalenia właściwej liczby stanowisk roboczych i doboru strategii sterowania systemem.

### 1. Wstęp

Dotychczas symulacja cyfrowa była stosowana do badania rzeczywistych procesów w gniazdach produkcyjnych w warunkach ustalonego profilu produkcyjnego, np. [2, 3, 5]. Celem niniejszego artykułu jest przedstawienie idei budowy modelu symulacyjnego w przypadku niezdeterminowanego profilu produkcyjnego. Choć metoda ma charakter ogólny, zdecydowano się na zilustrowanie jej konkretnym przykładem w celu uzyskania związku artykułu.

Proponowane podejście polega na generowaniu procesów produkcyjnych na podstawie danych statystycznych uzyskanych z obserwacji systemu funkcjonującego w ustalonych warunkach. W czasie generowania uwzględnia się przydział poszczególnych operacji do odpowiadających im stanowisk, określenie czasów trwania poszczególnych operacji oraz liczbę maszyn na danym stanowisku. Pozwala to ustalić różne, niezależne od siebie przebiegi procesów technologicznych. Proponowana metoda może być stosowana do badania pracy dowolnie wybranych gniazd produkcyjnych.

W większości przypadków istnieją trudności w zebraniu takiej liczby danych, aby zbudowany model badanego systemu wiernie odzwierciedlał rzeczywistość. Jednak nawet przy małej liczbie danych jest korzystniejsze dokonanie eksperymentu symulacyjnego niż zaniechanie wszelkich badań systemu.

### 2. Opis systemu produkcyjnego

Badania zostały przeprowadzone w F.S.W. - Andrychów na wydziale W-2

w gnieździe żaliwa. Jest to gniazdo przedmiotowe, w którym zainstalowanych jest 15 stanowisk roboczych wielomaszynowych wyposażonych w różną następującą liczbę obrabiarek:

- na stanowisku 1 zainstalowane są 3 frezarki pionowe,
- na stanowisku 2 zainstalowane są 3 frezarki poziome,
- na stanowisku 3 zainstalowane są 4 tokarki uniwersalne,
- na stanowisku 4 zainstalowane są 4 tokarki sterowane numerycznie,
- na stanowisku 5 zainstalowane są 4 wiertarki promieniowe,
- na stanowisku 6 zainstalowane są 2 wiertarki słupowe,
- na stanowisku 7 zainstalowane są 2 wiertarki wiślowrzecionowe,
- na stanowisku 8 zainstalowane są 2 wytaczarki,
- na stanowisku 9 zainstalowana jest 1 szlifierka kłowa,
- na stanowisku 10 zainstalowana jest 1 szlifierka do płaszczyzn,
- na stanowisku 11 zainstalowane są 2 gwinciarki,
- stanowisko 12 wyposażone jest w 2 stanowiska do piaskowania,
- stanowisko 13 wyposażone jest w 2 stanowiska do gradowania,
- stanowisko 14 wyposażone jest w 2 stanowiska do mycia,
- stanowisko 15 wyposażone jest w 2 stanowiska kontroli.

Obsługa w przedstawionym gnieździe produkcyjnym przebiega według następujących reguł:

1. Ustalona jest technologia produkcji, która dla każdego wyrobu podaje listę kolejnych operacji produkcyjnych niezbędnych do jego wykonywania:
  - numery stanowisk, na których mają być one wykonane,
  - czasy przygotowawczo-zakończeniowe TPZ,
  - czasy jednostkowe TJ,
  - wielkość serii produkcyjnej NS.
2. Wykonanie operacji technologicznej na partii wyrobów, na danym stanowisku może rozpocząć się:
  - po zakończeniu wykonywania poprzedniej operacji na tej partii,
  - po zwolnieniu tego stanowiska.
3. System realizuje pojedynczo kolejno nadchodzące zlecenia. Po wykonaniu danego zlecenia na danym stanowisku przystępuje do wykonania następnego.

Ponadto zakłada się, że są spełnione warunki konieczne <sup>do</sup> funkcjonowania każdego systemu produkcyjnego, takie jak:

- sprawność stanowiska roboczego,
- obecność pracownika,
- dostępność narzędzi i materiałów.



### 3. Sposób generowania zadań dla gniazda produkcyjnego

Generowanie procesów produkcyjnych, możliwych do przeprowadzenia w danym gnieździe, zostanie wykonane za pomocą specjalnie w tym celu ułożonego programu. Danymi wejściowymi programu, które zostały uzyskane z kart technologicznych 41 wyrobów produkowanych w tym gnieździe, są:

- operacje występujące jako pierwsze w procesach technologicznych,
- operacje występujące kolejno po sobie,
- czasy przygotowawczo-zakończeniowe i jednostkowe,
- numery stanowisk odpowiadające poszczególnym operacjom,
- wielkość serii produkowanych wyrobów.

#### 3.1. Analiza statystyczna danych.

Przy analizie danych stwierdzono, że procesy technologiczne produkowanych wyrobów składają się z 4 do 15 operacji spośród 14, jakie wystąpiły w tych procesach. Nazwy poszczególnych operacji (przedstawiona numeracja operacji technologicznych jest obowiązująca w dalszej części pracy) są następujące:

Nazwa operacji	Nr operacji	Nazwa operacji	Nr operacji
plaskowanie	1	gradowanie	8
frezowanie	2	rozwiercanie	9
wiercenie	3	zabielanie	10
toczenie	4	mycie	11
wytaczanie	5	kontrola	12
gwintowanie	6	planowanie	13
szlifowanie	7	cięcie	14

#### 3.2. Określenie pierwszej operacji.

Na podstawie zebranych danych ustalono, że jako pierwsza operacja występująca przy produkcji wyrobów może być jedna z trzech:

plaskowanie	- 1
frezowanie	- 2
toczenie	- 4

Tabela 1

Numer pierwszej operacji	1	2	4
Częstość na 41 przypadków	19	18	4
Dystrybuanta	0.46	0.9	1.0

Tabela nr 1 przedstawia częstość i dystrybuantę wystąpienia operacji 1, 2 lub 4 na 41 przypadków.

### 3.3. Określenie liczby operacji.

Przy ustalonej pierwszej operacji, przeprowadzono analizę możliwej liczby operacji poszczególnych procesów technologicznych. Korzystano ze zgromadzonych danych, które odpowiednio uporządkowano w tabelach o nr 2, 3, 4.

-Piaskowanie jako pierwsza operacja

Tabela 2

Liczba operacji	6	7	3	10	12	13	15
Częstość na 19 przypadków	3	6	3	2	1	3	1

-Frezowanie jako pierwsza operacja

Tabela 3

Liczba operacji	4	5	7	8	9	10	12
Częstość na 18 przypadków	6	1	2	5	1	2	1

-Toczenie jako pierwsza operacja

Tabela 4

Liczba operacji	6	7	8
Częstość na 4 . przypadki	2	1	1

Interpretacja tabel jest następująca, np. w tab. 3 (gdzie pierwszą operacją jest frezowanie) w kolumnie 3 wystąpiły 2 przypadki na 18 możliwych, że liczba operacji procesu technologicznego wynosiła 7.

Przeprowadzona powyżej analiza liczby operacji uwzględniała rodzaj operacji pierwszej. Na podstawie przeprowadzonej weryfikacji (weryfikacją



przeprowadzono za pomocą testu  $\chi^2$ ) o równości średnich wartości liczby operacji procesu technologicznego stwierdzono, że liczba operacji jest niezależna od typu pierwszej operacji. Z uwagi na to w programie liczba operacji procesu będzie generowana niezależnie od pierwszej operacji. Generowanie to zostanie przeprowadzone za pomocą tablicy wartości dystrybuant zamieszczonej w tab. nr 5.

Tabela 5

Liczba operacji	4	5	6	7	8	9	10	12	13	15
Dystrybuanta	0.14	0.16	0.28	0.51	0.73	0.75	0.85	0.91	0.98	1.00

#### 3.4. Określenia kolejnych operacji.

Analiza zebranych danych pozwoliła na określenie wzajemnych powiązań pomiędzy poszczególnymi operacjami. Ustalono liczbę przypadków pojawienia się kolejnej operacji ( $k+1$ ) przy aktualnej operacji ( $k$ ).

Np. dla ustalonej operacji o numerze 2 (frezowanie) wystąpiło:

- 6 przypadków, że operacja o numerze 2 (frezowanie) następowała po operacji frezowania,
- 30 przypadków, że operacja o numerze 3 (wiercenie) następowała po operacji frezowania,
- 3 przypadki, że operacja o numerze 5 (wytaczanie) następowała po operacji frezowania,
- 1 przypadek, że operacja o numerze 6 (gwintowanie) następowała po operacji frezowania,
- 3 przypadki, że operacja o numerze 7 (szlifowanie) następowała po operacji frezowania,
- 4 przypadki, że operacja o numerze 8 (gradowanie) następowała po operacji frezowania,
- 2 przypadki, że operacja o numerze 10 (zabielanie) następowała po operacji frezowania,
- 1 przypadek, że operacja o numerze 11 (mycie) następowała po operacji frezowania,
- 2 przypadki, że operacja o numerze 12 (kontrola) następowała po operacji frezowania,
- 1 przypadek, że operacja o numerze 13 (planowanie) następowała po operacji frezowania.

Przyrównując do liczby możliwych przypadków liczbę przypadków wystąpie-

nia danej operacji obliczono prawdopodobieństwo i dystrybucję pojawienia się kolejnej operacji przy aktualnie ustalonej. I tak np. generowanie kolejnej operacji przy ustalonej aktualnie operacji frezowania odbywać się będzie za pomocą zamieszczonej w tab. nr 6 tablicy dystrybucyjnej.

-Frezowanie

Tabela 6

Numer operacji	2	3	5	6	7	8	10	11	12	13
Dystrybuanta	0.11	0.67	0.73	0.75	0.80	0.87	0.91	0.95	0.98	1.00

Ponadto w procesach technologicznych zaobserwowano zależność rodzaju kolejnych operacji procesu od operacji pierwszej, np.:

- operacja rozwiercania nie występowała, gdy pierwszą operacją było piaskowanie,
- operacje toczenia i cięcia nie występowały, gdy pierwszą operacją było frezowanie.

W programie wprowadzono więc dodatkowe warunki logiczne, które eliminują występowanie tych operacji dla wspomnianych przypadków.

3.5. Analiza czasów przygotowawczo-zakończeniowych i jednostkowych wykonania kolejnych operacji oraz wielkości serii produkowanych wyrobów.

Na podstawie sporządzonych histogramów dla czasów TPZ i TJ poszczególnych operacji uszeregowano je w dwie grupy:

- pierwsza grupa dotyczyła operacji, dla których rozkłady z prób zbliżają się w dużym stopniu do rozkładu normalnego,
- druga grupa dotyczyła operacji, dla których mała liczebność prób nie pozwala określić charakteru rozkładu dla danego przypadku.

Pierwsza grupa dotyczyła tych operacji, dla których liczebność prób (czasów TPZ, TJ) była wystarczająca, aby można było poddać je weryfikacji hipotezy statystycznej o normalności rozkładu. Do grupy tej na przykład można zaliczyć operacje frezowania i wiercenia. W programie dla tej grupy określenie czasów trwania poszczególnych operacji będzie polegało na generowaniu ich z rozkładu normalnego.

W drugiej grupie czasy TPZ, TJ poszczególnych operacji przedstawione zostały za pomocą tablic dystrybucyjnej. Tablicę dystrybucyjną dla



operacji gwintowania, przedstawiono w tab. 7. Obliczanie czasów dla wszystkich operacji tej grupy w programie polegać będzie na generowaniu ich z tablic.

Tabela 7

Czas TJ	0.47	0.53	0.84	0.87	0.9	1.13
Dystrybuanta	0.17	0.33	0.5	0.67	0.83	1.00

Czas TPZ	8	10.5	11	12	12.5
Dystrybuanta	0.33	0.5	0.67	0.83	1.0

Dla zebranych danych odnośnie wielkości serii przeprowadzono weryfikację hipotezy o normalności rozkładu. Okazało się, że badany rozkład nie różni się od przyjętego rozkładu teoretycznego. W programie wielkość serii będzie generowana z rozkładu normalnego.

#### 4. Program obliczeniowy

Program realizuje generowanie procesów technologicznych w warunkach nieustalonych. Zadania postawione dla gniazda realizowane są w poszczególnych blokach programu z wykorzystaniem istniejących podprogramów bibliotecznych, bądź tablic dystrybuant. Są to następujące bloki programu:

- wczytanie i drukowanie danych wejściowych,
- generowanie operacji pierwszej,
- generowanie liczby operacji procesu technologicznego,
- generowanie wielkości serii produkowanych wyrobów,
- generowanie czasów TPZ, TJ oraz liczby obrabiarek (stanowisk), numer stanowisk.

W programie poszczególnym operacjom przypisywane są numery stanowisk, na których dana operacja będzie wykonywana. Przypisywanie operacji konkretnemu stanowisku polega na przypisaniu operacji obrabiarce, na której jest wykonywana, np. frezowanie - frezarcie.

W przypadku stanowisk wielomaszynowych, dla skrócenia czasu wykonania operacji na serii danego wyrobu wykorzystuje się różną liczbę obrabiarek na danym stanowisku. Zależy to od czasu jednostkowego wykonania operacji. Dla czasów TJ mniejszych od 0,9 min. operacja wykonywana jest na jednej obrabiarence, dla czasów TJ większych od 0,9 min. operacja wykonywana jest na wszystkich obrabiarkach danego stanowiska. W programie wprowadzono warunki logiczne uwzględniające zależności występujące w procesach technologicznych. Na przykład operacje toczenia i cięcia nie występowały, gdy pierwszą operacją było frezowanie.

### 5. Symulacja pracy gniazda produkcyjnego

Analiza pracy gniazda produkcyjnego została dokonana przy użyciu metody symulacyjnej. Symulacja przeprowadzona została przy użyciu istniejących już programów zamieszczonych w pracy [1, 4]. Zaproponowany tam specjalny model sieciowy pracy gniazda, składa się z wierzchołków przedstawiających stanowiska robocze, oraz łuków wyznaczających przebieg procesu technologicznego. W pracy dla osiągniętych wyników z programu (dla dowolnie wybranych trzech wygenerowanych procesów technologicznych) zbudowano adekwatny model sieciowy i przeprowadzono obliczenia symulacyjne systemu wg algorytmu obliczeniowego [4]. Na rys. 1 przedstawiono model sieciowy dla wybranych 3 wyrobów. Proces technologiczny każdego wyrobu składa się z różnej liczby operacji:

- dla pierwszego wyrobu (1) z 8 operacji,
- dla drugiego wyrobu (2) z 12 operacji,
- dla trzeciego wyrobu (3) z 13 operacji.

Przyporządkowanie kolejnych operacji do stanowisk jest następujące:

- |                         |                              |
|-------------------------|------------------------------|
| - dla pierwszego wyrobu | 12 1 5 13 9 6 8 15           |
| - dla drugiego wyrobu   | 1 7 8 5 3 6 4 7 6 13 15 14   |
| - dla trzeciego wyrobu  | 1 8 3 5 9 13 15 9 7 2 5 4 15 |

Eksperymenty symulacyjne wykonano dla następujących przypadków:

1. Łączenie wyrobów w grupy trzyelementowe i wprowadzenia ich na stanowiska we wszystkich możliwych permutacjach 3!
2. Zmiana kolejności wykonywania operacji na danym stanowisku przy zachowaniu porządku technologicznego. Przy zmianie kolejności kierowano się wielkością czasu jednostkowego wykonania operacji. Przyjęto dwie różne strategie wykonywania operacji jako pierwszych, raz o czasach najkrótszych, a raz o czasach najdłuższych.
3. Zmiana liczby stanowisk roboczych.



## 6. Wnioski

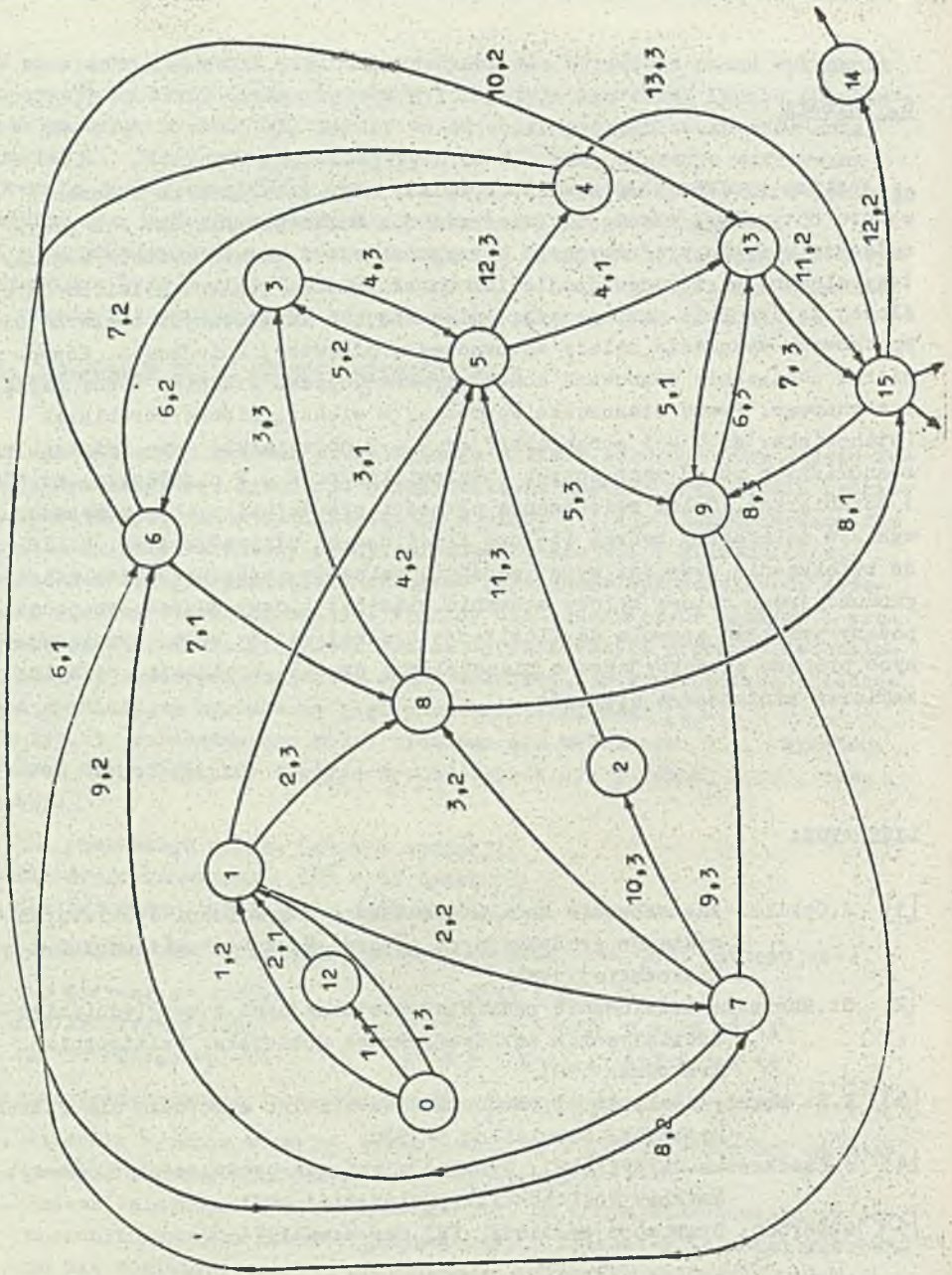
Analiza wyników eksperymentu symulacyjnego pozwoliła na dokonanie wyboru optymalnej strategii działania dla badanego gniazda. Dla przyspieszenia cyklu produkcyjnego korzystne jest łączenie wyrobów w grupy trzyelementowe i wprowadzanie ich na stanowiska robocze w ściśle określonej kolejności. Okazuje się, że operacje o najkrótszych czasach jednostkowych wykonania należy wprowadzać w pierwszej kolejności. Równomierne obciążenie stanowisk można uzyskać poprzez właściwy dobór parku maszynowego. Pewne stanowiska wyposażać w większą liczbę obrabiarek (stanowiska: nr 7 - 3 obrabiarki, nr 9 - 2 obrabiarki) przy redukcji na stanowiskach mniej obciążonych (stanowiska: nr 2 - 2 obrabiarki, nr 12 - 1 obrabiarka). Celem zwiększenia pewności przedstawionych w wnioskach wyników należałoby zebrać większą ilość danych statystycznych. O ile do zwiększenia pewności wyżej podanych wniosków, odnośnie do pracy gniazda produkcyjnego celowe byłoby zebranie większej liczby danych, to jednak podany przykład pozwala na ilustrację ogólnej metody badań symulacyjnych procesu produkcyjnego o niestalonym profilu produkcji, co było zamiarem niniejszego artykułu.

## LITERATURA

- [1] J.Cyklis: Zastosowanie modelu sieciowego w symulacji dyskretnych systemów produkcyjnych, *Żeszyt Naukowy Politechniki Krakowskiej* 1983.
- [2] St.Rusinek: Modelowanie oddziaływań produkcyjnych z uwzględnieniem oddziaływania zakłóceń, *Praca doktorska, Politechnika Krakowska* 1983.
- [3] K.Es'Maani: Analysis of Production Facilities a Network Simulation Approach, *Simulation* 5/1980.
- [4] J.Szadkowska-Skrzypiciel: Symulacja gniazda produkcyjnego, *Żeszyt Naukowy Politechniki Krakowskiej* 1983.
- [5] G.Gordon: Symulacja systemów, WNT, Warszawa 1974.

Recenzent: prof.dr inż. Henryk Kowalowski

Wpłynęło do Redakcji do 30.03.1984r.



Rys.1 Model sieciowy gniazda produkcyjnego.



## МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СИСТЕМ С НЕОПРЕДЕЛЁННЫМ ПРОИЗВОДСТВЕННЫМ ПРОФИЛЕМ

## Резюме

В работе представлен способ использования метода цифрового моделирования и сетевой модели для исследования действительных процессов в случае неопределённого производственного профиля. Показано, что моделированные вычисления оказались полезными в решениях по определению соответственного числа рабочих мест и подбора стратегии управления системой.

## PRODUCTION SYSTEMS SIMULATION WITH NON-CONSTANT PRODUCTION PROFILE

## Summary

A possibility of applications of the numerical simulation and the network model to investigation of a production process with a non-constant production profile is described. It is shown that the simulation results are useful in the decision making problem which concerns the proper number of work stands estimation and the strategy of decision making and control system.