

Barbara Pabiniak-Kujawa, Jadwiga Rusinek*

USTALANIE OPTYMALNEJ WIELKOŚCI PARKU MASZYNOWEGO
(Z UWZGLĘDNIENIEM REZERW)
DLA OSIĄGNIĘCIA WYMAGANEJ SPRAWNOŚCI PROCESU PRODUKCYJNEGO

Problem sterowania wielkością rezerwy urządzeń wytwórczych w procesie produkcyjnym w przypadku zmieniających się planów asortymentowych, najczęściej rozpatrywany bywa z technicznego punktu widzenia. Dla przedstawienia ekonomicznych aspektów tego zagadnienia posłużymy się metodami teorii niezawodności i rezerwacji oraz metodami symulacyjnymi. Opisu i analizy sprawnego funkcjonowania procesu produkcyjnego w przemyśle włókienniczym dokonamy na przykładzie zakładu produkującego jedwabne dzianiny tkaninopodobne. Rozważany problem stanowi kontynuację zagadnienia omawianego w artykule B. Pabiniak-Kujawy, pt. "Zastosowanie symulacji do badania niezawodności procesu produkcyjnego". Tam też zamieszczona została pełna charakterystyka przykładowego przedsiębiorstwa.

Dla sprawnego funkcjonowania procesu produkcyjnego konieczne jest ustalenie takiej wielkości parku maszynowego, by ilości maszyn w poszczególnych operacjach technologicznych zapewniały ciągłość produkcji. Spełnienie tego warunku jest szczególnie pożądane w przypadku projektowania nowych zakładów produkcyjnych. Na tym etapie organizacji procesu produkcyjnego projektant nie dysponuje jeszcze takimi informacjami, jak:

* Dr Barbara Pabiniak-Kujawa - adiunkt w Instytucie Ekonometrii i Statystyki Uniwersytetu Łódzkiego; dr Jadwiga Rusinek - adiunkt w Instytucie Ekonometrii i Statystyki Uniwersytetu Łódzkiego.

- rzeczywiste czasy pracy maszyn i urządzeń produkcyjnych,
- rzeczywiste wydajności poszczególnych grup maszyn,
- rozkład częstotliwości występowania postojów, powstałych w wyniku awarii,

W związku z tym proponowany przez niego ilościowy i strukturalny zestaw parku maszynowego opierać się może jedynie na nominalnych wskaźnikach dotyczących pracy maszyn. W trakcie eksploatacji maszyn następuje rozbieżność między założeniami a faktycznymi wielkościami charakteryzującymi pracę maszyn. Dlatego też procedura ustalania optymalnego parku maszynowego podzielona została na dwa etapy. W etapie pierwszym ustala się, przy uwzględnieniu wskaźników nominalnych (projektowych) taką strukturę parku maszynowego, która zapewniłaby ciągłość procesu produkcyjnego. Etap drugi dotyczy weryfikacji ilości maszyn i urządzeń wyliczonych w etapie I ze względu na rzeczywisty czas pracy maszyn i charakterystyki ich niezawodności. W rezultacie w etapie drugim otrzymuje się optymalne wielkości rezerw dla poszczególnych grup maszyn, co powinno zapewnić wysoką niezawodność procesu produkcyjnego.

Etap pierwszy

W celu wyznaczenia takich ilości maszyn poszczególnych typów w danych operacjach, które konieczne są dla zapewnienia ciągłości procesu produkcyjnego, posłużymy się schematem blokowym.

Proces technologiczny zakładu charakteryzuje się tym, że wyrób nie przechodzi w całości przez wszystkie typy maszyn. Dlatego też trudno jest porównywać wydajność grup maszyn, przez które przechodzi tylko część wyrobu, z wydajnością grup maszyn obsługujących całą produkcję.

Za podstawę do wyliczenia interesującej nas ilości maszyn przyjęto więc porównywanie zapotrzebowania na surowiec, kolejno dla wszystkich grup maszyn, z zapotrzebowaniem maszyn głównych procesu. Przez zapotrzebowanie rozumiemy tutaj tę ilość surowca, jaka winna wejść do procesu by dana grupa maszyn była w stanie ją przerobić. W wielkości zapotrzebowania uwzględnione są powstające w procesie odpady surowca, jak również zapotrzebowanie asortymentowe na produkcję zakładu określone w schemacie jako udziały.

W blokach 11-15 schematu dokonuje się takiej korekty planów asortymentowych, która pozwoliłaby na bardziej równomierne obłożenie maszyn, a tym samym na lepsze wykorzystanie istniejącego parku maszynowego, w rezultacie czego zmniejszałyby się konieczność dokupienia lub pozbycia się maszyn.

Blok 14 jest podprogramem zmiany udziałów, uruchamianym w przypadku uzyskania negatywnej odpowiedzi w bloku 13. Gdy w ramach danej operacji "i" ΔZ_{ij} mają różne znaki oznacza to, że przynajmniej dla jednego z typów maszyn w tej operacji wystąpił brak rezerwy. W tym przypadku należy tak sterować udziałami mocy produkcyjnych poszczególnych typów maszyn tej operacji, by:

- zlikwidować zapotrzebowanie na zakup dodatkowych maszyn rezerwowych; jest to możliwe wtedy, gdy moce produkcyjne wszystkich

maszyn łącznie w ramach danej operacji $\left(\sum_j \frac{V_{ij}}{1 - O_{ij}} \right)$

są większe od mocy produkcyjnych maszyn głównych; Należy więc zmniejszyć udział mocy dla typów maszyn z brakującą rezerwą do poziomu nie wymagającego zakupu maszyn dodatkowych, kosztem zwiększenia udziałów mocy maszyn posiadających rezerwę (kroki 14.5, 14.6, 14.7),

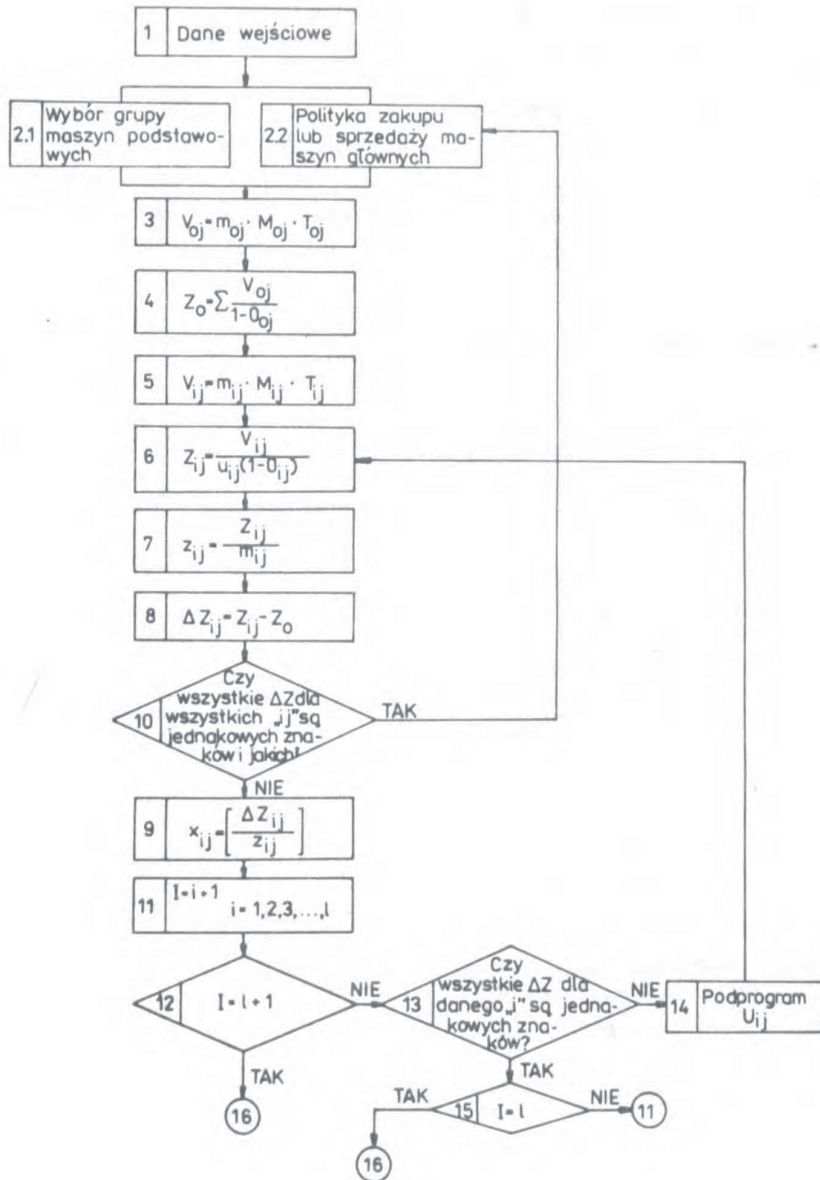
- zmniejszyć zapotrzebowanie na dodatkowe rezerwowe maszyny. Zachodzi to w przypadku, gdy moce produkcyjne w ramach danej operacji są mniejsze od mocy produkcyjnych grupy maszyn głównych. Pożądany rezultat uzyskamy zwiększając udziały mocy dla maszyn posiadających nadmierną rezerwę na korzyść zmniejszenia zapotrzebowania na moce produkcyjne maszyn charakteryzujących się brakiem rezerwy (krok 14.8, 14.9 i 14.10 schematu blokowego).

Zmiana udziałów jest jednak, jak już wspomniano wcześniej, związana z ilościową zmianą rodzajów otrzymywanych wyrobów gotowych. Ostateczna decyzja o dokonaniu rzeczywistych zmian udziałów uzależniona jest od zapotrzebowania rynku na dane rodzaje wyrobów.

Na uwagę zasługuje blok 10, dotyczący badania znaków w przyrostach zapotrzebowania, gdyż jeżeli dla całego procesu ΔZ są jednakowych znaków oznacza to, że jeżeli:

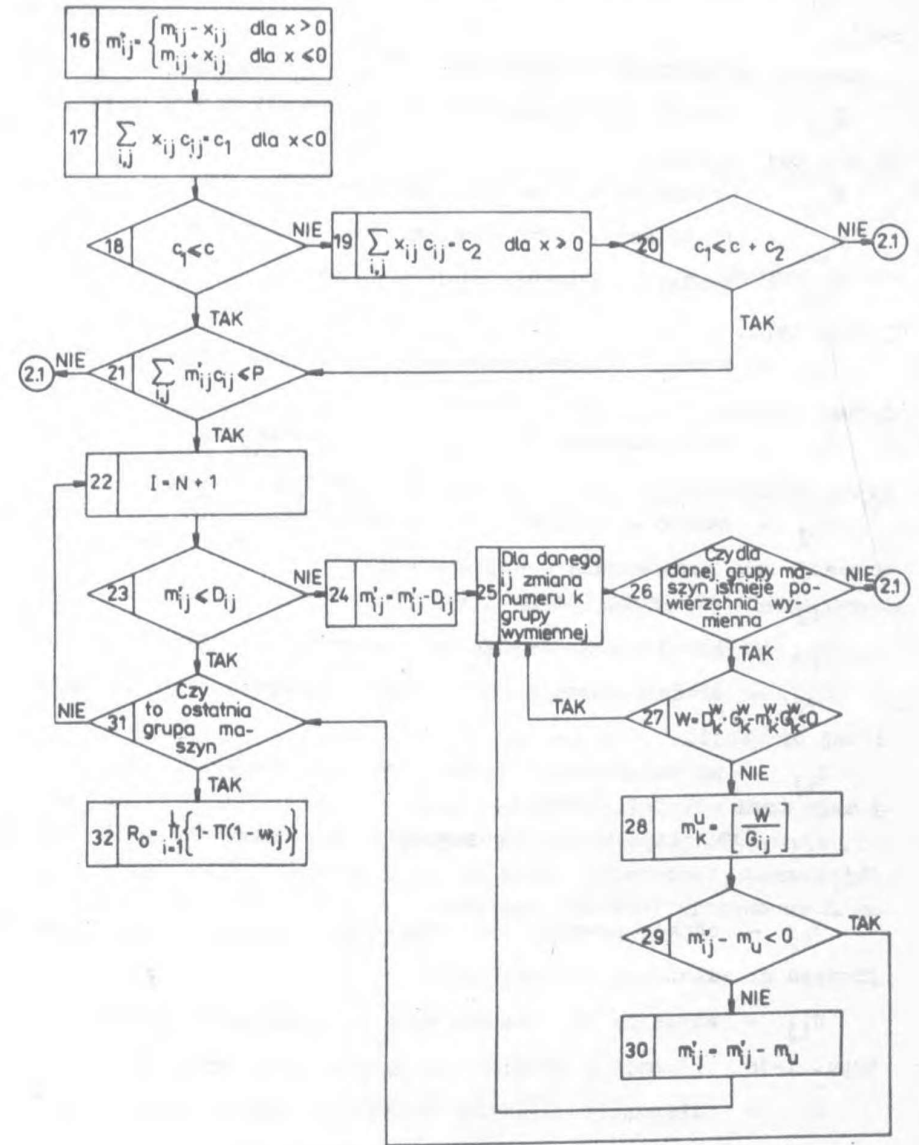
(- ΔZ) ujemne - należałoby rozważyć politykę zmniejszenia

Schemat blokowy wyliczania niezawodności procesu produkcyjnego rezerwy



Schemat 1

przy optymalnie ustalonym parku maszynowym (bez uwzględnienia maszyn)



Oznaczenia:

T_{ij} - średni rzeczywisty czas pracy maszyn j-tego typu w i-tej operacji,

T_{ij} - nominalny czas pracy maszyn j-tego typu w i-tej operacji,

ω_{ij} - współczynnik gotowości " " " " "

$\bar{\omega}_{ij}$ - średni ważony współczynnik gotowości maszyn j-tego typu w i-tej operacji,

V_{oj} - wydajność maszyn grupy podstawowej j-tego typu,

m_{oj} - ilość maszyn grupy podstawowej j-tego typu,

M_{oj} - średnia normatywna wydajność maszyn grupy podstawowej j-tego typu,

T_{oj} - średni rzeczywisty czas pracy maszyn grupy podstawowej j-tego typu,

Z_o - zapotrzebowanie początkowe na surowiec dla maszyn grupy podstawowej przed rozpoczęciem procesu produkcyjnego,

O_{oj} - odpady powstałe w procesie produkcyjnym od początku procesu do zakończenia o-wej operacji,

V_{ij} - wydajność maszyn j-tego typu w i-tej operacji,

m_{ij} - ilość maszyn j-tego typu w i-tej operacji,

M_{ij} - średnia normatywna wydajność maszyn j-tego typu w i-tej operacji,

Z_{ij} - zapotrzebowanie początkowe na surowiec dla maszyn j-tego typu w i-tej operacji,

z_{ij} - zapotrzebowanie początkowe na surowiec na 1 maszynę (ij),

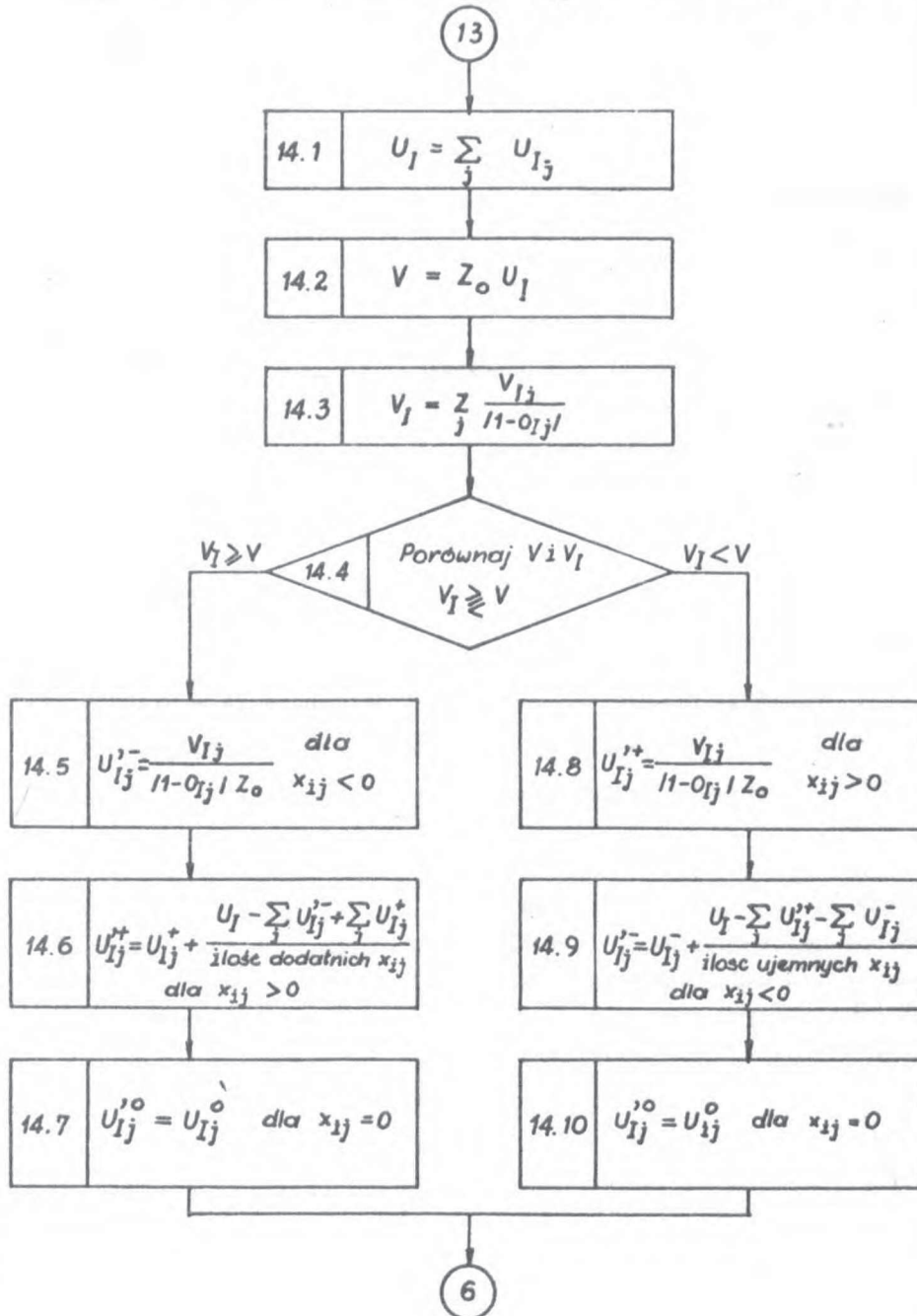
O_{ij} - odpady powstałe w procesie produkcyjnym od początku procesu do zakończenia i-tej operacji,

U_{ij} - założony % udziału mocy produkcyjnych maszyn j-tego typu, i-tej operacji w stosunku do ogólnej mocy procesu,

C - maksymalne fundusze (nakłady), jakie zakład może przeznaczyć na zakup maszyn i urządzeń produkcyjnych,

- c_1 - koszt zakupu maszyn brakujących w całym procesie,
 c_2 - uzysk ze sprzedaży maszyn zbędnych w całym procesie,
 D_{ij} - maksymalna ilość maszyn j-tego typu i-tej operacji, jaką można zainstalować w zakładzie,
 D_{ij}^w - maksymalna ilość maszyn, jakie mogą stać na powierzchni wymiennej,
 m_{ij}^w - ilości maszyn, jakie powinny stać na powierzchni wymiennej,
 m_{ij}^u - ilości maszyn, jakie można umieścić na powierzchni wymiennej,
 P - powierzchnia użytkowa zakładu,
 G_{ij} - powierzchnia faktycznie zajmowana przez maszyny j-tego typu i-tej operacji,
 G_{ij}^w - powierzchnia faktycznie zajmowana przez maszyny wymienne j-tego typu i-tej operacji,
 x_{ij} - ilość maszyn j-tego typu, i-tej operacji - brakujących dla $x_{ij} < 0$ i zbędnych dla $x_{ij} > 0$ - w procesie produkcyjnym,
 R_0 - niezawodność procesu produkcyjnego przy optymalnie ustalonym parku maszynowym (bez rezerwy maszyn).

Objaśnienie schematu 1. Bloki 3, 4, 5, ..., 16 służą do wyznaczenia ilości maszyn niezbędnych do sprawnego działania procesu. W tym celu przyjmuje się, że moce przerobowe poszczególnych grup maszyn nie mogą być mniejsze od mocy przerobowych maszyn grupy głównej (dziewiarek).

Podprogram sterowania udziałami U_{ij} (blok 14 schematu 1)

ilości maszyn w grupie głównej, bowiem w stosunku do niej brakuje wszystkich typów maszyn podstawowych,

(+ ΔZ) dodatnie - należałoby dokupić maszyn do grupy głównej i tym samym zwiększyć moc całego procesu.

Oba wymienione przypadki charakteryzują sytuacje krańcowe dla procesu produkcyjnego. Z realnego punktu widzenia interesujący jest przypadek, w którym ΔZ są różnych znaków.

Bloki 17-31 dotyczą sprawdzania dopuszczalności otrzymanego rozwiązania (ilości maszyn wyznaczonych w bloku 16).

W blokach 17-20 sprawdzamy, czy istnieje możliwość uzupełnienia brakujących maszyn w ramach funduszy jakimi zakład dysponuje i powiększonych o sumę uzyskaną ze sprzedaży maszyn zbędnych.

Bloki 21-31 dotyczą możliwości rozmieszczenia ustalonego w bloku 16 parku maszynowego na powierzchni produkcyjnej zakładu.

W rezultacie obliczeń otrzymano pożądane ilości maszyn wszystkich typów i porównano je z istniejącym już parkiem maszynowym. Pozwoli to na ustalenie, dla których typów maszyn zakład posiada maszyny zapasowe (zbędne) lub dla których należy park maszynowy uzupełnić.

Schemat blokowy kończy blok 32, w którym wyznaczona zostaje niezawodność procesu produkcyjnego przy ustalonym parku maszynowym.

Etap drugi

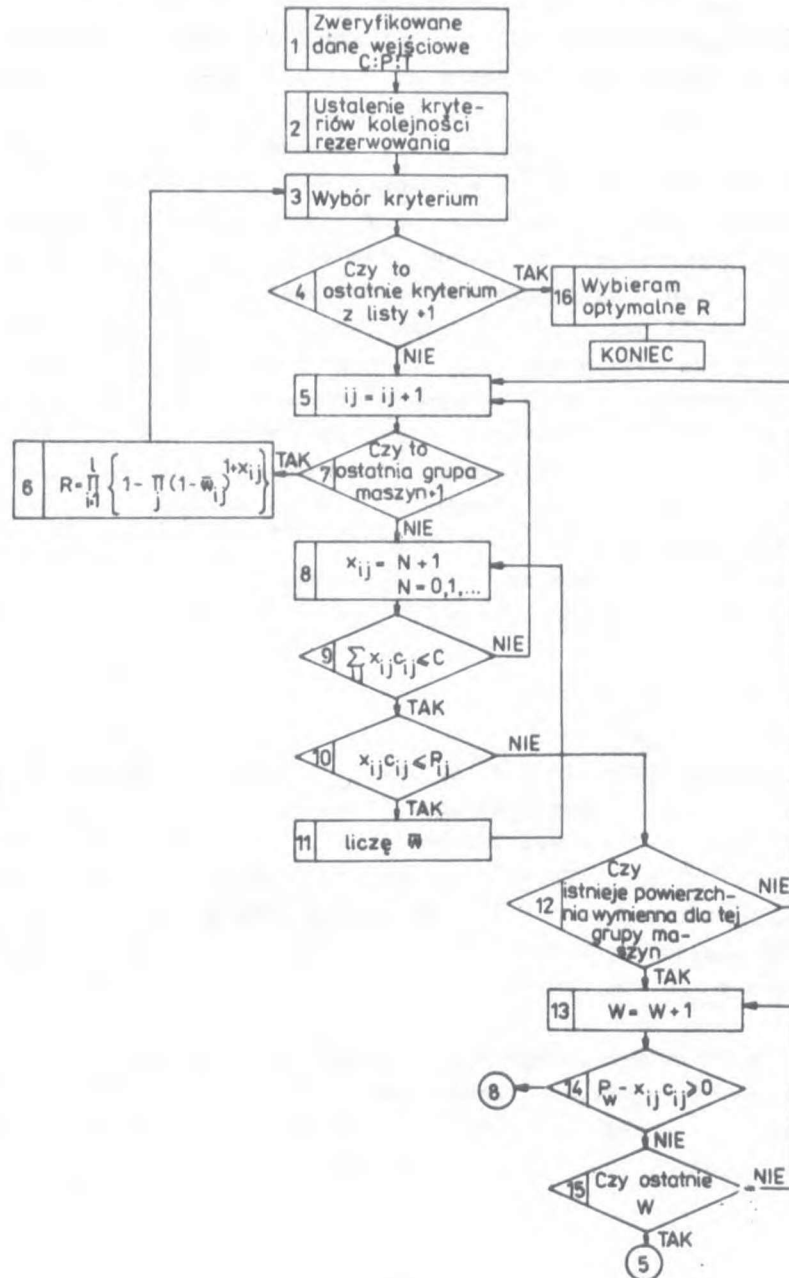
Przy założeniu, że dysponujemy pożądanym parkiem maszynowym i przy uwzględnieniu rzeczywistego (a nie nominalnego, jak w schemacie 1) czasu pracy wszystkich maszyn, wyznaczamy wielkości rezerwy dla poszczególnych grup maszyn. Następnie uwzględniając warunki ograniczające, takie jak koszty zakupu maszyn czy też powierzchnia produkcyjna jaką dysponuje zakład, ustalamy wielkość tej rezerwy na poziomie zapewniającym możliwie największą niezawodność całego procesu.

Wyliczeń tych dokonuje się na podstawie schematu 3.

Oznaczenia użyte w schematach 1 i 3 są identyczne, z wyjątkiem x_{ij} . W schemacie 2 x_{ij} oznaczają ilości maszyn rezerwowych dla j -tego typu, i -tej operacji.

S c h e m a t 3

Schemat blokowy ustalania optymalnych rezerw dla grup maszyn i wyznaczania niezawodności procesu produkcyjnego



Dane wejściowe (blok 1) do schematu 2 dotyczące nakładów, powierzchni i czasu pracy maszyn muszą być skorygowane.

Przez C rozumiemy teraz nakłady, czyli fundusze jakie możemy przeznaczyć na zakup maszyn rezerwowych, P oznacza powierzchnię, jaka pozostaje do dyspozycji po ustaleniu optymalnego parku maszynowego (wg schematu 1), T rzeczywisty czas pracy, który uzyskuje się przez szacowanie statystyczne lub z wyrażenia $\hat{T} \cdot \omega$.

W bloku 2 podaje się kryteria wyboru kolejności grup maszyn, dla których ustalana będzie rezerwa, np.:

- 1) rezerwę ustalamy najpierw dla grupy maszyn charakteryzujących się najmniejszym współczynnikiem gotowości,
- 2) w pierwszej kolejności dla najmniej licznej grupy maszyn (maszyn pojedynczych),
- 3) rezerwę ustalamy wg kolejności występowania maszyn w procesie technologicznym.

Mogą istnieć jeszcze inne warianty ustalania rezerw:

- 1) przyjęcie innej kolejności grup maszyn,
- 2) dla danej grupy nie wyczerpywać możliwości rezerwy, ale ustalić po jednej maszynie rezerwowej dla wszystkich kolejnych grup, a następnie zwiększając rezerwę $q > 1$ powtarzać całą procedurę obliczeniową.

W bloku 8 dokonuje się iteracyjnego wyznaczania ilości maszyn rezerwowych kolejno dla wszystkich grup maszyn, spełniających warunki ograniczające takie same jak w schemacie 1.

Po uzyskaniu dla danej grupy maszyn dopuszczalnych ilości maszyn rezerwowych, wyliczony zostaje w bloku 11 współczynnik gotowości, jako średnia ważona

$$\bar{\omega} = \frac{\omega_{ij} m'_{ij} + \omega'_{ij} x_{ij}}{m_{ij} + x_{ij}}$$

dla sytuacji, w której maszyny rezerwowe charakteryzowałyby się innymi współczynnikami gotowości niż maszyny podstawowe. W rezultacie całej procedury obliczeniowej schematu 2 w bloku 16 wyznaczona zostanie optymalna wielkość R, a tym samym taka polityka rezerwowania, która zapewni najwyższy możliwy poziom niezawodności procesu produkcyjnego.

Barbara Pabiniak-Kujawa, Jadwiga Rusinek

DETERMINATION OF OPTIMAL SIZE OF MACHINE STOCK
(INCLUDING RESERVES)
ALLOWING TO SECURE REQUIRED EFFICIENCY OF PRODUCTION PROCESS

The article discusses the simulation method of determining optimal size of the machine stock. The calculating procedure was divided into two stages. In the first stage there is defined the structure of the existing stock being optimal for securing continuity of the production process. In the second stage the obtained number of machines is being verified according to the real working time and characteristics of dependable operation of these machines. As a result, in the second stage there are obtained optimal levels of reserves for particular machine groups, which should ensure high efficiency of the production process.