

Andrzej Pawełczyk *

PLANOWANIE PRODUKCJI - PRZYKŁAD PRAKTYCZNY

1. Wstęp

Dynamicznie rozwijający się współczesny przemysł potrzebuje nie tylko nowoczesnych maszyn, ale również nowoczesnych metod zarządzania. Obecnie coraz większą rolę w kierowaniu przedsiębiorstwami odgrywają Informatyczne Systemy Zarządzania, stając się coraz bardziej powszechnym narzędziem ich kierownictwa.

W artykule tym zaprezentowano konkretny przykład projektu szczegółowego¹ agendy Planowania Produkcji. Agenda ta jest podsystemem całościowego Informatycznego Systemu Zarządzania przedsiębiorstwem przemysłowym zaprojektowanego metodą wzorców idealnych Nadlera.

Obsługuje ona obszar decyzyjny Planowanie, którego celem jest adaptacyjne i harmonijne sterowanie układem dla osiągnięcia celów sformułowanych przez kierownictwo. Przewodnią myślą w projektowaniu agendy Planowanie Produkcji było dążenie do wspomagania kluczowych procesów decyzyjnych - jakimi dla przedsiębiorstwa są niewątpliwie procesy planistyczne - techniką komputerową.

Decyzje podejmowane w trakcie procesów planowania dotyczą problemów w dużej części bezstrukturalnych i o niepełnej strukturze. Tylko niewielka część problemów, z jakimi można

* Mgr, starszy asystent naukowo-badawczy w Instytucie Ekonomiki Przemysłu Lekkiego UŁ.

¹ Zgodnie z klasyfikacją J. Grahama, Analiza systemowa w jednostkach gospodarczych, Warszawa 1975, s. 31.

zetrąć się w trakcie procesów planowania, posiada pełną strukturę, a tylko dla takich można formułować modele matematyczne. Te z kolei można rozwiązać za pomocą znanych i dopuszczalnych technik obliczeniowych. Aktualna technika obliczeniowa nie potrafi w pełni sprostać stawianym jej wymaganiom dotyczącym budowania i rozwiązywania modeli matematycznych procesów planowania. Przyczyną takiej sytuacji jest to, że procesy te charakteryzują się:

- bardzo dużą liczbą danych przetwarzanych w procesie planowania,
- bardzo dużą liczbą wykonywanych operacji obliczeniowych,
- wielokrotną analizą wykonywaną w szeregu iteracjach i na kolejnych szczeblach,
- oceną w odniesieniu do zjawisk o niewystarczająco zdefiniowanej strukturze,
- złożonymi relacjami i współzależnościami,
- wielowymiarowymi celami,
- wielokierunkową komunikacją pomiędzy planującymi na różnych szczeblach struktury i jej elementami.

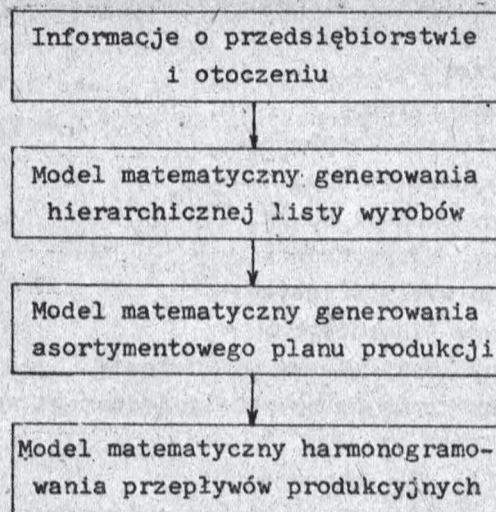
Obecnie można zapewnić współudział komputera w procesach planistycznych dotyczących gromadzenia i przetwarzania danych na układy wygodne dla procesu planowania oraz wykonywania bardziej pracochłonnych operacji obliczeniowych. Ograniczenie się jednak tylko do takich zastosowań sprowadza komputer do roli "wielkiego liczydła" - jednocześnie bardzo kosztownego - i nie wykorzystuje w pełni jego możliwości.

W agendzie tej podjęto próbę takiego wykorzystania komputera, aby w istotny sposób wzmocnić zdolności umysłowe planujących poprzez eksperymentowanie za pomocą modeli matematycznych w celu uzyskania wyników dla różnych kombinacji i wielkości zmiennych decyzyjnych.

Projektowanie agendy Planowanie Produkcji oparto na następującym algorytmie generowania asortymentowego planu produkcji (rys. 1).

Każdemu modelowi matematycznemu przedstawionemu w algorytmie odpowiada moduł przetwarzania agendy Planowanie Produkcji.

Ze względu na oryginalny sposób rozwiązania, szerzej w opracowaniu przedstawione są modele matematyczne poszczególnych modułów przetwarzania.



Rys. 1. Algorytm generowania asortymentowego planu produkcji

W trakcie budowy każdego asortymentowego planu produkcji powstaje zawsze problem wyboru wyrobów, które należy uwzględnić w planie.

2. Moduł przetwarzania nr 1 - uszeregowana lista wyrobów

Punktem wyjścia do opracowania asortymentowego planu produkcji jest uszeregowanie wyrobów produkowanych w przedsiębiorstwie, z punktu widzenia określonych kryteriów. Do oceny wyrobów przyjęto następujące umowne grupy kryteriów:

- technologiczne,
- rynkowe,
- finansowe,
- jakościowe.

Skład poszczególnych grup kryteriów może być zmienny. Dobór odpowiednich kryteriów uzależniony jest przede wszystkim od charakteru procesów produkcyjnych w przedsiębiorstwie. Jednym z możliwych jest następujący podział:

1. Grupa kryteriów technologicznych:
 - a) elastyczność parku maszynowego,
 - b) trudności w zdobyciu surowców podstawowych,
 - c) trudności w zdobyciu materiałów pomocniczych (barwniki),
 - d) czasochłonność produkcji.

2. Grupa kryteriów rynkowych:

- a) wahania sezonowe,
- b) atrakcyjność wyrobu,
- c) ocena możliwości kooperacji,
- d) konkurencyjność wyrobu,
- e) spodziewany eksport do KK,
- f) spodziewany eksport do KS,
- g) spodziewana wielkość zbytu.

3. Grupa kryteriów finansowych:

- a) spodziewany koszt własny wytworzenia jednostki wyrobu,
- b) spodziewany zysk ze sprzedaży jednostki wyrobu,
- c) nowość.

4. Grupa kryteriów jakościowych:

- a) ryzyko technologiczne,
- b) wrażliwość wyrobu na jakość surowca.

Należy zaznaczyć, że celowo starano się wyodrębnić dużą ilość kryteriów, aby ocena wyrobów była jak najbardziej wszechstronna.

Przy opracowaniu matematycznego algorytmu generowania uszeregowanej listy wyrobów z punktu widzenia wymienionych kryteriów, przyjęto następujące oznaczenia:

$Z_1, Z_2 \dots Z_{98}$ - numery kolejnych wyrobów,

x_{ij} - wartość oceny i-tego wyrobu z punktu widzenia j-tego kryterium.

W związku z tym, dowolny wyrób Z_i można opisać w następujący sposób:

$$Z_i = [x_{ij}] \quad (1)$$

dla $1 \leq i \leq 98$

$1 \leq j \leq 16$

Przedstawione za pomocą wzoru (1) wyroby można traktować jako punkty w przestrzeni 16-wymiarowej, a ich współrzędne x_{ij} można zestawiać w postaci macierzy:

$$X = \begin{bmatrix} x_{1,1} & \dots & \dots & x_{1,j} & \dots & x_{1,16} \\ x_{i,1} & \dots & \dots & x_{i,j} & \dots & x_{i,16} \\ x_{98,1} & \dots & \dots & x_{98,j} & \dots & x_{98,16} \end{bmatrix} \quad (2)$$

Przy badaniu wzajemnego położenia tych punktów można się posłużyć pojęciem odległości punktów w przestrzeni n wymiarowej. Z geometrii analitycznej wiadomo, że odległość d_{ik} między punktami o numerach i oraz k oblicza się zgodnie z wzorem²:

$$d_{ik} = \sqrt{\sum_{j=1}^n (x_{ij} - x_{kj})^2} \quad (3)$$

gdzie: $1 \leq k \leq 16$.

Posługując się danymi (2) oraz wzorem (3) można obliczyć odległości d_{ik} dla wszystkich możliwych par punktów o numerach i, k . Odległości d_{ik} tworzą macierz kwadratową postaci:

$$D = \begin{bmatrix} d_{1,1} & d_{1,2} & \dots & d_{1,k} & d_{1,98} \\ d_{2,1} & d_{2,2} & \dots & d_{2,k} & d_{2,98} \\ \cdot & \cdot & & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & & \cdot & \cdot \\ d_{k,1} & d_{k,2} & \dots & d_{k,k} & d_{k,98} \\ \cdot & \cdot & & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & & \cdot & \cdot \\ d_{98,1} & d_{98,2} & & d_{98,k} & d_{98,98} \end{bmatrix} \quad (4)$$

Ze wzoru (3) widać, że:

$$d_{ik} = d_{ki}$$

oraz

$$d_{ii} = 0$$

² Przy obliczeniach prowadzonych ręcznie można się posłużyć mniej precyzyjnym miernikiem odległości, jakim jest przeciętna różnica cech, którą oblicza się wg wzoru:

$$d_{ik} = \frac{\sum_{j=1}^n (x_{ij} - x_{kj})}{n}$$

Macierz D jest więc symetryczna względem głównej przekątnej i dlatego w obliczeniach można brać pod uwagę tylko elementy macierzy trójkątnej.

Dodatkowo do macierzy X wprowadza się dwa fikcyjne wyroby:

- hipotetyczny wyrób o cechach najgorszych, zwany obiektem pesymistycznym,

- wyrób o cechach najlepszych, zwany obiektem optymistycznym.

Dane dotyczące tych dwóch wyrobów włącza się do macierzy w następujący sposób:

Obiekt optymistyczny

numery
obiektów

0	$x_{0,j}$
	$x_{1,j}$
99	$x_{99,j}$

(5)

Obiekt pesymistyczny

Na podstawie tej macierzy, przy pomocy wzoru 3, oblicza się odległości i wypełnia macierz D.

Elementy tej macierzy pozwalają znaleźć najkrótszą drogę; łączącą obiekt optymistyczny³ z pesymistycznym. Otrzymujemy ją przez posortowanie wyrobów uwzględnionych w pierwszym wierszu macierzy D według wzrastającej odległości od obiektu optymistycznego. Tak uzyskana kolejność wyznacza hierarchiczną listę wyrobów emitowaną w postaci tabulogramu zawierającego następujące informacje:

- numer porządkowy,
- symbol wyrobu gotowego,
- nazwę wyrobu gotowego,
- wartości poszczególnych kryteriów.

Tabulogram ten jest podstawą do podjęcia decyzji, które wyroby należy uwzględnić przy budowie wariantowego asortymentowego programu produkcji. Program ten generowany jest w module drugim.

³ Przez obiekt optymistyczny autor rozumie sztucznie tworzony wyrób, który posiada najkorzystniejsze cechy wszystkich kryteriów. Analogiczna sytuacja występuje w przypadku obiektu pesymistycznego, który reprezentuje cechy najgorsze.

3. Moduł przetwarzania nr 2 - Generowanie Asortymentowego Programu Produkcji

Rezultatem obliczeń dokonywanych w tej jednostce jest zbudowanie kilku wersji rocznego asortymentowego programu produkcji, kwartalnych planów ofert giełdowych i następnie budowanie kwartalnych asortymentowych planów produkcji. Zarówno plany ofert giełdowych jak i kwortalne plany produkcji obliczane są w kilku wersjach, w zależności od przyjętej funkcji celu. Szczegółowość planu nie ogranicza się tylko do podania wielkości produkcji poszczególnych wyrobów, a także określa alokację produkcji w asortymencie pomiędzy wyszczególnione stanowiska robocze w kolejnych fazach procesu produkcyjnego.

Asortymentowy program produkcji rozwiązywany jest z parametryczną postacią wektora ograniczeń typu $C_1 - \theta C_2$. Parametr θ przyjmuje wartości skokowe z przedziału $0 : 50$. Wektor C_1 określa zdolności produkcyjne stanowisk roboczych w planowanym okresie czasu, mierzone liczbą maszynogodzin oraz dolne lub górne ograniczenia wielkości produkcji określonych pozycji asortymentowych. Wektor C_2 określa zdolności produkcyjne jednego dnia roboczego. Macierz układu składa się z trzech bloków. Blok pierwszy o wymiarach M_1 wierszy i N kolumn zawiera pracochłonność wytworzenia jednostki produkcji wymienionych w zadaniu pozycji asortymentowych na wyszczególnionych stanowiskach roboczych (M_1 - liczba stanowisk, N - liczba zmiennych).

Drugi blok jest macierzą o wymiarach $M_2 \times N$ i składa się z zer i jedynek. Celem tej macierzy jest określenie artykułów (pozycji asortymentowych) jako sumy odpowiednich zmiennych decyzyjnych (M_2 - liczba artykułów). Trzecia podmacierz (o wymiarach $M_3 \times N$) składa się z zer i jedynek ze znakiem plus lub minus, jej zadaniem jest określenie warunków bilansujących przepływ procesu produkcyjnego przez kolejne fazy wytwarzania.

ZMIENNA DECYZYJNA określa wielkość produkcji wybranego artykułu na określonym

stanowisku roboczym. Jako jednostkę produkcji przyjęto 100 mb. wyrobu gotowego.

Kryterium optymalności wyrobu stanowi raz koszt produkcji, drugim razem wielkość zysku. FUNKCJA KOSZTÓW zadana jest w pierwszym wypadku wektorem, którego składowe określają koszty produkcji wyszczególnionych artykułów, w drugim przypadku - zyskami jednostkowymi. FUNKCJE CELU (KOSZTÓW) są traktowane jako wiersze macierzy.

Budując model matematyczny założono, że głównym celem działalności przedsiębiorstwa jest jego ciągły rozwój. Zapewnić go można między innymi przez odpowiednie planowanie produkcji. Spośród mierników rozwoju przedsiębiorstwa przyjęto za podstawę obliczeń dwa, dla których zbudowano odpowiednie funkcje celu:

- minimalizującą koszty produkcji,
- maksymalizującą wielkość zysku.

Czynnikiem ograniczającym dla tych wielkości są: zdolności produkcyjne przedsiębiorstwa lub jego środki finansowe. Założono, że odpowiadzi na pytania:

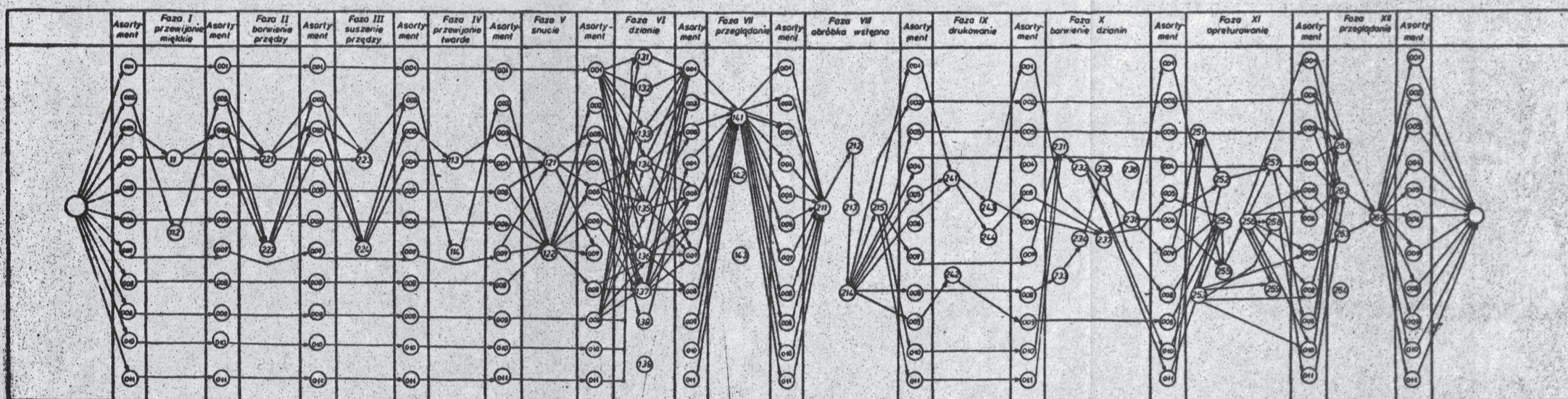
- czy realizacja postawionych przed przedsiębiorstwem zadań produkcyjnych jest możliwa przy nie zmienionym potencjale produkcyjnym?
 - jakie są możliwości przekroczenia zadań planowych bez powiększenia zdolności produkcyjnych przedsiębiorstwa?
 - które ze stanowisk produkcyjnych jest wąskim gardłem?
- mają istotne znaczenie dla podejmowania przez kierownictwo przedsiębiorstwa decyzji dotyczących optymalnego wykorzystania sił i środków.

Obliczenia będą realizowane na sieciowym modelu procesu produkcyjnego. Węzłami są jednorodne grupy maszyn (stanowiska robocze). Łuki określające możliwości produkowania określonych wyrobów na konkretnych stanowiskach roboczych, każdemu łukowi przyporządkowany jest parametr określający średnią prędkość j-tego wyrobu na i-tej maszynie.

Sieć opisująca proces produkcyjny została zbudowana przy następujących założeniach:

- zostają zachowane kolejne fazy technologiczne, przez które przechodzi w produkcji każdy z wyrobów,

Model sieciowy procesu produkcyjnego



- uwzględnia się tylko maszyny i urządzenia bezpośrednio produkcyjne,
- pominięte zostają wszystkie operacje wyłącznie manualne,
- łukom sieci odpowiadają technologicznie możliwe połączenia produkcyjne pomiędzy poszczególnymi wyrobami i urządzeniami w każdej fazie produkcji.

Tablica 1 przedstawia przykładową sieć zbudowaną tylko dla jedenastu wyrobów. Zbudowaną wg omówionych poprzednio zasad sieć można przedstawić jako zadanie programowania liniowego, którego rozwiązanie jest podstawą do zbudowania planu produkcji o dowolnym horyzoncie czasowym.

Opisany za pomocą równań model można przedstawić jako macierz, której elementy

1) określają średnią czasochłonność produkcji jednostki wyrobu 9999 w przyjętej jednostce czasu na danym stanowisku roboczym XX. Element zerowy oznacza brak możliwości wytwarzania danego wyrobu w 9999 na stanowisku roboczym XX.

2) 1 - występuje wtedy, gdy równanie bilansujące dotyczy wyrobu, który może być wytwarzany na danej grupie maszyn (określonej przez kolumny),

0 - równanie nie dotyczy danego wyrobu.

3) 0, -1, 1 - postać ta uwarunkowana jest równaniem bilansującym przepływ produkcji między kolejnymi fazami przerobu.

Omówiony model można zapisać w postaci macierzowej, ilustruje go tab. 1. Model ten może być również wykorzystany do porównywania różnych wariantów obciążenia maszyn i urządzeń, a więc eksperymentowania, bez konieczności wyłączenia pewnych maszyn, czy linii technologicznych z procesu produkcyjnego, istnieje także możliwość określenia stopnia wykorzystania zdolności produkcyjnych dla każdej z faz poprzez zadany plan.

Nie wydaje się celowe, aby za pomocą tego modelu budować plany bardziej szczegółowe niż dekadowe. Przypuszcza się, że określenie wielkości produkcji w asortymencie dla każdego stanowiska roboczego na dekadę, z informacją o stopniu napięcia planu itp., daje wystarczające szczegółowe informacje kierownictwu, a jednocześnie zapewnia wystarczającą swobodę manewru kierownikowi oddziału, czy wydziału.

Tabulogramy emitowane w tej jednostce zawierają między innymi następujące informacje:

T a b e l a 1

Matematyczny model zadania zapisany macierzowo

		X_1	...	X_{50}	...	X_{150}	Ograniczenia	Komentarz
	111001		...	131050	...	265150		
1	F	1		1		1		funkcje celu
2	F	1		1		1		
3	111	0		2248		0,6	a	równania bilansowe dla maszyn
.	112	0		.		.	.	
.				.		.	.	
.				.		.	.	
40	131	960		0		2200	b	
.				.		.	.	
.				.		.	.	
150	965	12,8		16,8		0	c	
151	06001	1	0	0		0	k	ograniczenia planowe dla wyrobu
.				.		.	.	
.				.		.	.	
200	06050	0		1		0	i	
.				.		.	.	
.				.		.	.	
360	06150	0		0		0	t	
301	P XXX B	1		0		0		równania międzyfazowe
.				.		.		
.				.		.		
343	R XXX B	0		1		0		
.				.		.		
400	A XXX Z	0		0		1		

- symbol zmiennej decyzyjnej,
- indeks wyrobu gotowego,
- ilość produkcji wyrobu gotowego,
- jednostkowe koszty produkcji wyrobu gotowego,
- globalny koszt produkcji wyrobu gotowego,
- jednostkowy zysk z produkcji wyrobu gotowego,
- globalny zysk z produkcji wyrobu gotowego.

Dla wydziału wykończalni istnieje możliwość opracowania harmonogramów sterujących przebiegiem strumienia materiałowego poprzez proces produkcyjny. Realizuje to moduł przetwarzania nr 3.

4. Moduł przetwarzania nr 3 - Planowanie operacji

Celem jednostki jest zapewnienie optymalnych przepływów produkcyjnych przy terminowym i zgodnym z reżimem technologicznym wykonaniu wyrobów.

Funkcja jednostki polega na ułożeniu operacji na poszczególnych stanowiskach roboczych w kolejności odpowiadającej reżimowi technologicznemu oraz ułożeniu kompletu operacji wymaganych w planowanym okresie czasu w sposób zapewniający optymalny przepływ produkcji i możliwe jak najbardziej równomierne obciążenie urządzeń wytwórczych. Obliczenia przebiegają wg następującego schematu⁴.

Wyniki obliczeń generowane za pomocą wyżej opisanego algorytmu otrzymane są w postaci tabulogramu zawierającego następujące informacje:

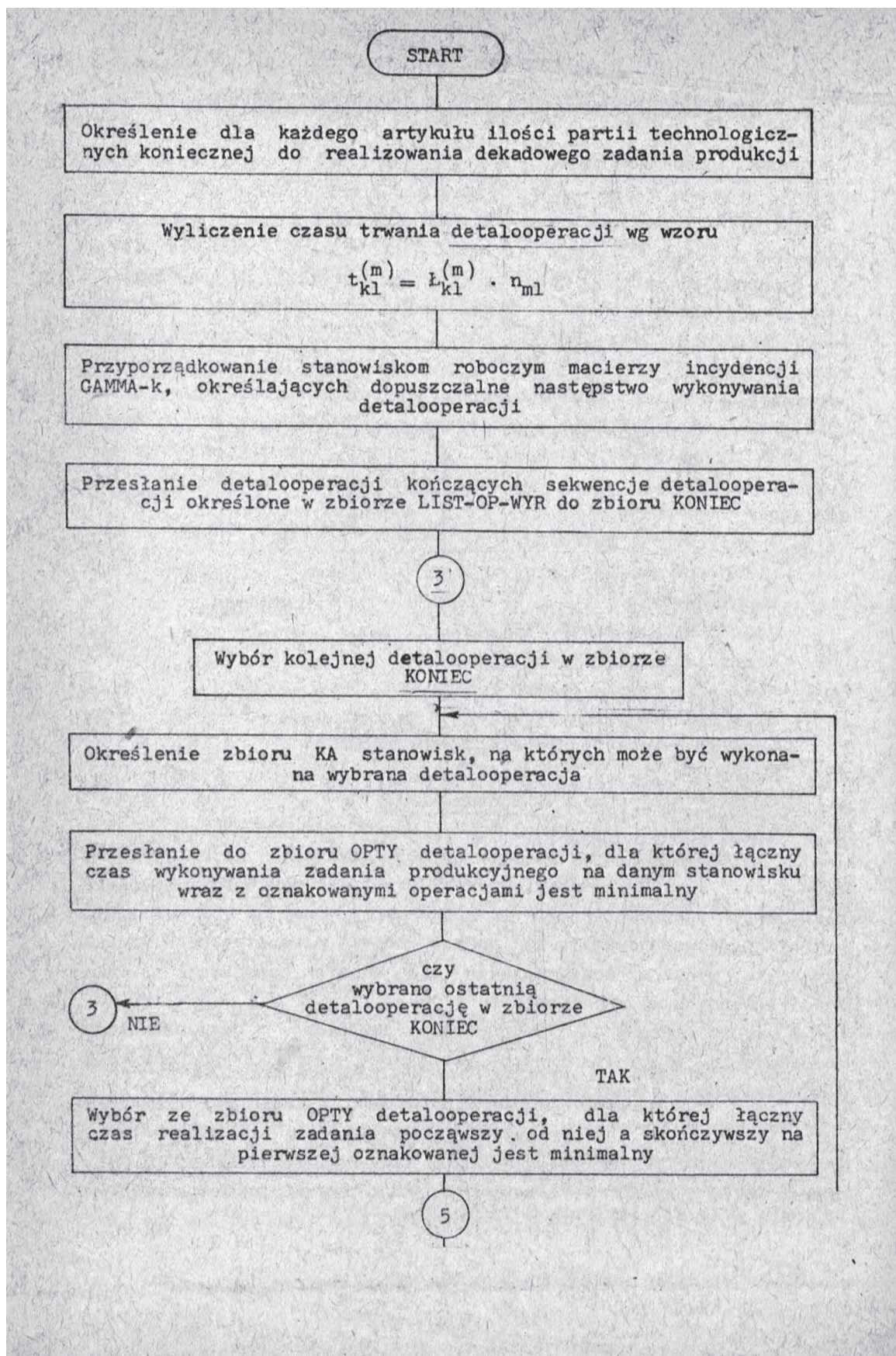
- symbol wyrobu gotowego,
- planowana wielkość produkcji,
- numer partii,
- indeks stanowiska i operacji,
- nazwa stanowiska i operacji,
- czas rozpoczęcia operacji,
- czas trwania operacji,
- stopień wykorzystania stanowiska roboczego.

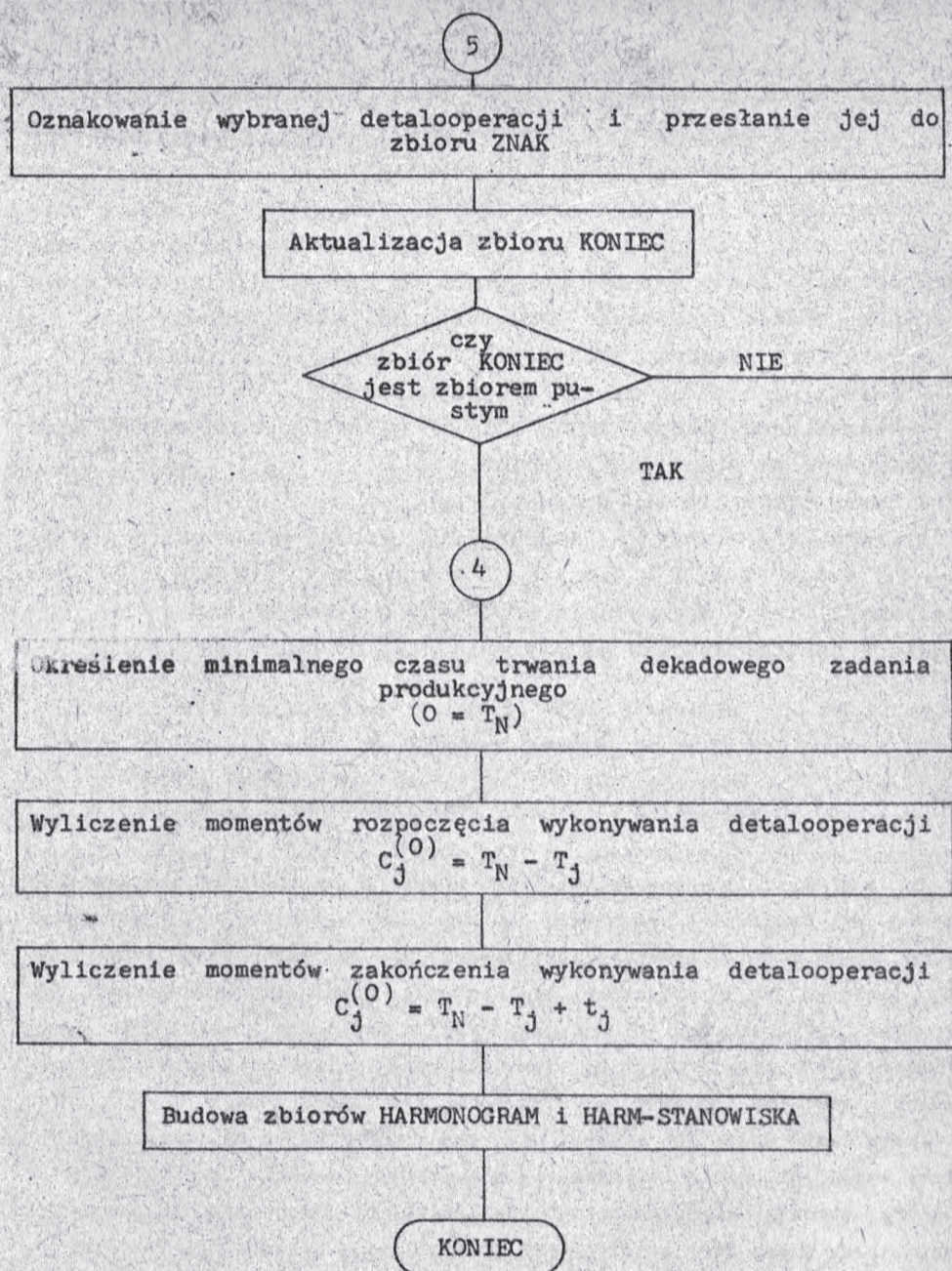
5. Podsumowanie

W opracowaniu tym podjęto próbę takiego wykorzystania komputera, aby w istotny sposób wzmocnić zdolności umysłowe planujących poprzez:

- a) eksperymentowanie za pomocą modeli matematycznych w celu uzyskania wyników analitycznych dla różnych kombinacji i wielkości zmiennych decyzyjnych;
- b) zautomatyzowanie łączności i możliwości bezpośredniego porozumienia się planujących wewnątrz jednostki gospodarczej pomiędzy sobą i z maszyną cyfrową.

⁴ Pełny opis algorytmu podany jest w artykule K. Strzeleca i P. Świderskiego, Zastosowania metod sporządzania harmonogramów w sterowaniu przebiegiem procesu produkcyjnego, "Zeszyty Naukowe UŁ" 1976, S. III, z. 9.





Rys. 2. Schemat przetwarzania modułu Planowania operacji
 $t_{kl}^{(m)}$ - czas konieczny do podania m-tego artykułu l-tej operacji na k-tym stanowisku; $L_{kl}^{(m)}$ - czas obróbki 1 partii technologicznej m-tego wyrobu w l-tej operacji na k-tym stanowisku roboczym; n_{ml} - ilość partii m-tego artykułu konieczna do obróbki w l-tej operacji celem realizacji dekadowego zadania

Właściwości te starano się wykorzystać w jednostkach przetwarzania składających się na projekt roboczy agendy. Można to zauważyć szczególnie w prezentowanych jednostkach, gdzie za pomocą odpowiednich modeli matematycznych zapewniono możliwości generowania uporządkowanej listy wyrobów możliwych do produkcji, a następnie za pomocą modelu sieciowego zapewniono możliwość budowy:

- roboczego programu produkcji,
- kwartalnego planu ofert giełdowych,
- kwartalnego planu produkcji z alokacją asortymentów między poszczególne stanowiska robocze,
- harmonogram procesu produkcyjnego.

Starano się także o zapewnienie dobrej elastyczności planu - jest to istotą dobrego planu - poprzez umożliwienie dokonywania odpowiednio częstych zmian w jego projekcie dostosowujących przedsiębiorstwo do zmian w otoczeniu.

Andrzej Pawełczyk

PRODUCTION PLANNING - PRACTICAL EXAMPLE

In the article there is presented a concrete example of the detailed project of Production Planning agenda. It constitutes a subsystem of an aggregate Information Management System of the industrial company designed by application of Nadler's ideal standards method. The key idea in designing the agenda was a wish to strengthen key decisional processes - which the planning processes undoubtedly represent for the company - with computer techniques.

There was made an attempt at such utilization of the computer which would allow to increase substantially mental capacities of planners through experimentation by means of mathematical models. Among others there were applied here the following mathematical models.

- taxonomic model of products evaluation,
 - linear programming model of generating the production assortment programme,
 - dynamic programming model of production flows planning.
- Such construction of the agenda seems to be securing possibilities of introducing relatively frequent changes in its project, which makes an essential feature of a good plan.