

Stanisław RUSINEK
Politechnika Krakowska

MODELOWANIE PROCESU MONTAŻU NA POTRZEBY PLANOWANIA JIT

Streszczenie. W referacie przedstawiono problematykę planowania produkcji wg reguł Just in Time oraz projekt algorytmu planowania opartego na modelu symulacyjnym systemu montażu. Symulacja procesu montażu pozwala określić z dostatecznym wyprzedzeniem czasowym harmonogram dostaw.

ASSEMBLY PROCESS MODELLING FOR PLANNING NEEDS OF JIT

Summary. The paper presents some problems connected with manufacturing planning according to Just in Time (JIT) rules. The planning algorithm is based on the simulation model of assembly system. The simulation of the assembly process allows to define a supply schedule in advance.

1. Wstęp

W realizacji procesów montażu pojawiają się problemy, które ogólnie podzielić można na:

- a) konstrukcyjno-technologiczne;
- b) organizacyjno-logistyczne.

Problemy te nabierają szczególnej wagi w miarę zwiększania się stopnia automatyzacji i elastyczności montażu. Zadania organizacyjno-logistyczne występują w równej mierze na etapach:

- a) projektowania montażu (optymalny dobór parametrów i struktury);
- b) planowania operatywnego (dla elastycznie zmiennego programu produkcyjnego);
- c) sterowania przebiegiem procesu (w warunkach i czasie rzeczywistym).

Złożoność ww. problematyki sprawia, że do jej rozwiązania stosuje się coraz częściej symulację cyfrową. Klasyczna metoda symulacji (analiza historii zdarzeń), oprócz wielu zalet, posiada również sporo wad. Zaliczyć do nich można przede wszystkim niski stopień ogólności modelu, opracowywanego praktycznie oddzielnie dla każdego systemu. Zwiększa to znacznie pracochłonność badań symulacyjnych. W związku z tym podejmowane są próby wykorzystania w procesie modelowania specjalnych metod opisu struktury i stanów systemu.

Wymienić tu można, między innymi, stosowanie w procesie modelowania tzw. kolorowanych sieci Petriego [2]. Okazuje się jednak, że, obok niskiego stopnia ogólności, przygotowanie modelu wymaga dobrej znajomości metodyki modelowania. Dla potencjalnego użytkownika stanowi to dodatkowe utrudnienie.

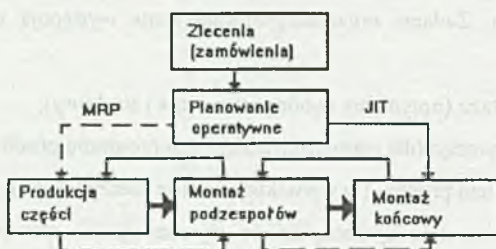
Zdaniem autora wad takich nie posiada tzw. macierzowa metoda symulacji [1] opracowana w Instytucie Technologii Maszyn i Automatyzacji Produkcji Politechniki Krakowskiej.

W referacie przedstawiono możliwość zastosowania metody macierzowej do symulacji procesu montażu na potrzeby planowania operatywnego wg zasad JIT.

2. Analiza problemu

Właściwy przebieg procesu montażu uzależniony jest przede wszystkim od terminowego zasilania systemu w elementy i podzespoły montowane do wyrobu finalnego. W przypadku montażu wielowariantowego (różnych wersji wyrobu) utrzymanie niezbędnego zapasu obrotowego elementów montowanych na minimalnym poziomie staje się zagadnieniem złożonym z punktu widzenia planowania operatywnego. Dotyczy to w szczególności organizacji produkcji typu „pull” odpowiadającej planowaniu wg reguł JIT.

Jak wiadomo, system JIT planowania i organizacji produkcji zakłada, aby w łańcuchu procesów technologicznych i kooperacyjnych każdy element wyrobu finalnego wyprodukowany był dokładnie na czas jego montażu, a termin zakończenia montażu i jego nakład odpowiadał zamówieniom (zapotrzebowaniu) rynku. Wzorzec, do którego należy



Rys. 1. Schemat planowania produkcji wg JIT i MRP
Fig. 1. The scheme of process planning in JIT and MRP

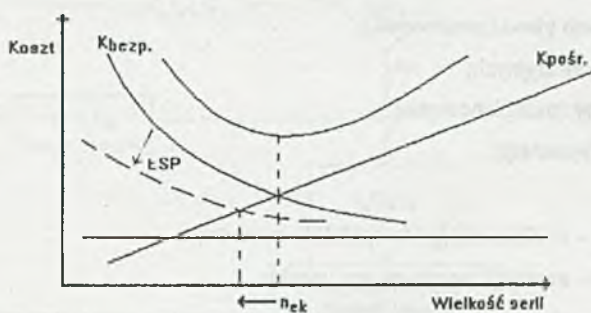
dążyć, to zerowy poziom zapasów obrotowych w montażu przy wielkości partii produkcyjnej $n=1$. Przyjęty sposób planowania typu „pull” stawia dodatkowe, wysokie wymagania w stosunku do tradycyjnych metod typu „push”. Rys. 1. ilustruje schematycznie różnice w obiegu

informacji przy planowaniu wg dwóch ww. zasad. Metoda JIT wymaga więc precyzyjnego planowania „wstecz w czasie” przy zachowaniu minimalnego poziomu wielkości dostaw do montażu.

Systemy zasilające montaż (produkcja, kooperacja) posiadają jednak pewne ograniczenia wynikające z czynników ekonomiczno-organizacyjnych. Należy do nich zaliczyć przede wszystkim:

- a) w zakresie produkcji własnej: tzw. ekonomiczną wielkość jednorazowo uruchamianej serii produkcyjnej;
- b) w zakresie kooperacji: wielkość uzasadnionej kosztami przewozu partii transportowej.

Stosowanie w łańcuchu procesów technologicznych elastycznych systemów produkcyjnych obniża wprawdzie koszty bezpośrednie (na rys. 2. linia przerywana), co w efekcie obniża wartość n_{ek} , jednak nie rozwiązuje problemu, który można sformułować następująco: system montażu zasilany jest w elementy montowane w formie jednorazowych, ekonomicznie uzasadnionych partii transportowych (serii produkcyjnych). Powoduje to tworzenie się zapasów obrotowych w przypadku, gdy chwilowe (okresowe) zapotrzebowanie montażu na elementy montowane jest mniejsze od wielkości jednorazowo dostarczanej partii.



Rys. 2. Zależność kosztów produkcji od wielkości serii
Fig. 2. The relationship between production cost and batch size

3. Algorytm realizacji planowania

Przyjęto założenie, że każdy element (podzespół) dostarczany do montażu posiada określoną wartość serii (partii) oraz cyklu rozumianego tutaj jako przedział czasu od zamówienia do dostawy. Planowanie operatywne montażu bazuje na wynikach uzyskanych z symulacji procesu w założonym przedziale czasu.

Niezbędny do symulacji model systemu powinien spełniać warunki:

- a) możliwość symulacji na podstawie listy zamówień (zleceń) z uwzględnieniem asortymentu, nakładu i terminu realizacji;
- b) możliwość określenia terminu montażu elementu do zespołu (określenie historii zdarzeń);
- c) prosta budowa, szybka realizacja symulacji.

Warunki takie spełnia, wspomniany we wstępie, model macierzowy budowany wg zasad i reguł symulacji znanych z literatury [1,4].

Na podstawie wyników symulacji pracy montażu dokonywana jest analiza istniejących zapasów i określane są wielkości i terminy dostaw. Uproszczony schemat proponowanego algorytmu przedstawiono na rys. 3.

W algorytmie tym przyjęto oznaczenia:

n_{ij} - wielkość partii (serii produkcyjnej) jednorazowo dostarczanej do montażu;

T_{ij} - czas cyklu dostawy (od zamówienia do dostawy);

z_{ij} - zapas obrotowy w linii montażowej;

p_{ij} - zapotrzebowanie na elementy niezbędne do realizacji zamówienia;

t_j - termin użycia pierwszego elementu do montażu (termin dostawy);

l_j - liczba sztuk wyrobu w planie (zamówieniu);

Tr_j - termin realizacji planu (zamówienia);

k_j - liczba dostaw awaryjnych;

t_a - termin aktualny (data planowania);

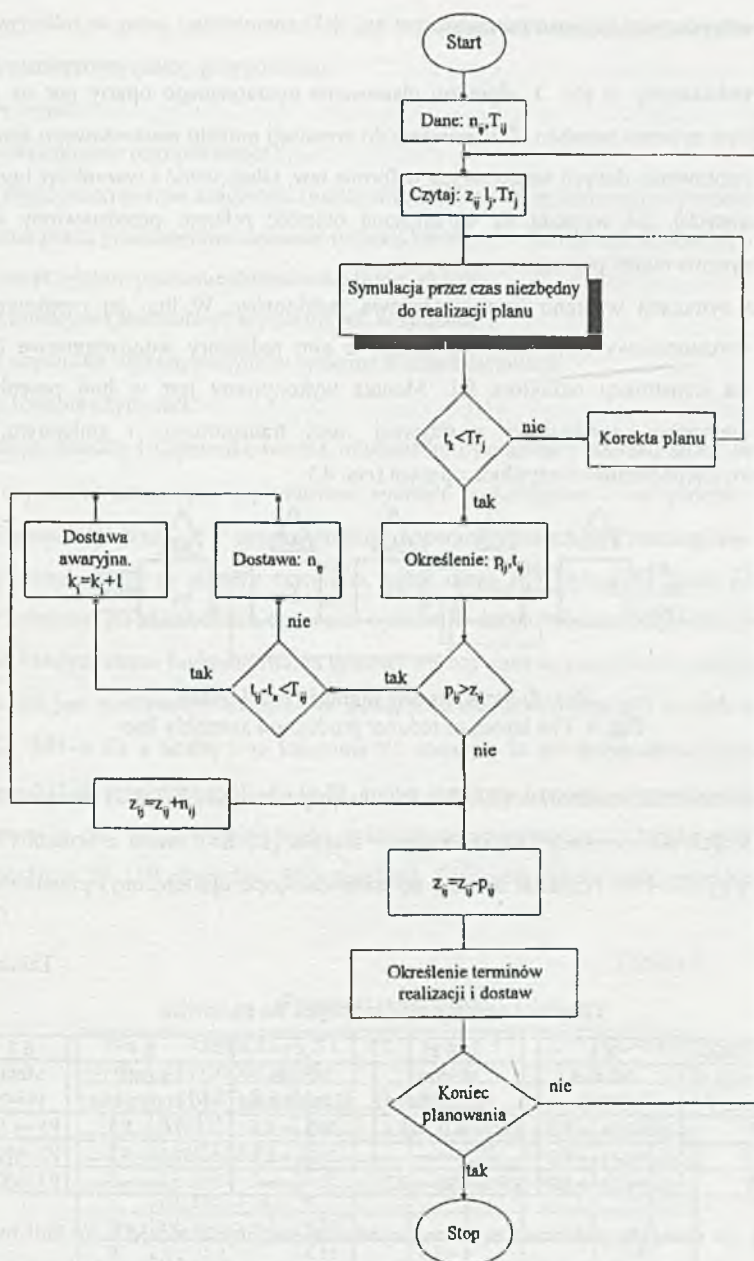
t_k - termin końca symulacji;

gdzie:

$i = 1, 2, \dots, I$ - nr elementu (podzespołu) do montażu;

$j = 1, 2, \dots, J$ - nr wersji montowanego wyrobu.

W proponowanym algorytmie symulacja pracy montażu realizowana jest przez czas niezbędny do wykonania całego planu. Po zakończeniu symulacji następuje korekta planu (zleceń) w przypadku przekroczenia terminów realizacji. W przeciwnym wypadku dokonywany jest bilans zapotrzebowania i aktualnie posiadanych zapasów obrotowych. Na tej podstawie tworzona jest aktualna lista dostaw i tzw. dostaw awaryjnych w układzie: nr elementu - termin dostawy. Każda dostawa realizowana jest w ilości odpowiadającej wartości n_{ij} . Przez tzw. dostawę awaryjną rozumiany jest przypadek konieczności uzupełnienia zapasu obrotowego (gdy $p_{ij} > z_{ij}$), w sytuacji gdy termin zapotrzebowania na element jest krótszy od możliwego terminu dostawy ($t_j - t_a < T_{ij}$).

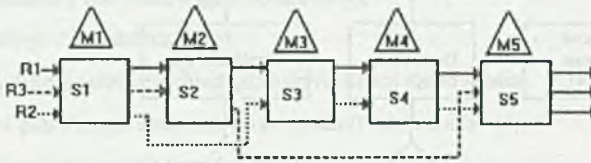


Rys. 3. Algorytm planowania procesu montażu
 Fig. 3. The algorithm of assembly process planning

4. Przykład symulacji procesu montażu

Przedstawiony w pkt. 3. algorytm planowania operatywnego oparty jest na modelu symulacyjnym systemu montażu. Zastosowanie do symulacji modelu macierzowego sprowadza się do przygotowania danych wejściowych w formie tzw. tabeli wyjść i warunków logicznych (ograniczających). Ze względu na ograniczoną objętość referatu przedstawiony zostanie fragmentarycznie model prostego systemu montażu.

Do symulacji wybrano linię montażową reduktorów. W linii tej montowany jest reduktor dwustopniowy (R1) oraz równolegle z nim reduktory jednostopniowe (R2,R3) bazujące na konstrukcji reduktora R1. Montaż wykonywany jest w linii przepływowej wieloprzedmiotowej, rozdzielczej o sztywnej więzi transportowej i zmiennym takcie, sterowanym zakończeniem wszystkich operacji (rys. 4.).



Rys. 4. Struktura linii montażu reduktorów
Fig. 4. The layout of reducer production assembly line

W procesie montażu reduktorów (R1, R2, R3) do korpusów (K1, K2, K3) montowane są na poszczególnych stanowiskach (S1-S5) kolejno: łożyska (Ł1-Ł4), wałki z kołami (W1-W4) oraz pokrywy (P1-P3). Przydział operacji do stanowisk (opis uproszczony) przedstawiono w tabelcy 1.

Tablica 1

Przydział operacji montażowych do stanowisk

STANOWISKO	S 1	S 2	S 3	S 4	S 5
operacja ⇒ typ reduktora ↓	Montaż łożysk	Montaż I przelżenia	Montaż II przelżenia	Montaż III przelżenia	Montaż pokryw
R 1	(Ł1-Ł2) → K1	(W1+W2) → K1	W3 → K1	W4 → K1	P1 → K1
R 2	(Ł3+Ł4) → K2	-----	W3 → K2	W4 → K2	P2 → K2
R 3	(Ł1+Ł2) → K3	(W1+W2) → K3	-----	-----	P3 → K3

Elementy do montażu pobierane są z magazynów operacyjnych M1-M5. W linii mogą być montowane równolegle wszystkie typy reduktorów w proporcjach zależnych od zapotrzebowania (zleceń produkcyjnych). Fakt ten stwarza wiele problemów o charakterze organizacyjnym (maksymalizacja wykorzystania stanowisk) i logistycznym (minimalizacja zapasów obrotowych). Zastosowanie symulacji na potrzeby planowania operatywnego jest w

tym przypadku w pełni uzasadnione. Jak już wcześniej wspomniano, na potrzeby symulacji metodą macierzową należy przygotować:

- tabelę wyjść;
- warunki logiczne (ograniczające).

Tabelę wyjść stanowi opis kolejności (następstw) wykonywania czynności wyszczególnionych w systemie przez poszczególne elementy (obiekty) biorące w nich udział. Celem jej utworzenia należy, na przyjętym poziomie dokładności opisu, określić:

- zbiór obiektów (elementów) wydzielonych w systemie;
- zbiór czynności wykonywanych w systemie w czasie symulacji;
- czasy trwania czynności.

Wydzielone obiekty i czynności tworzą odpowiednio kolumny i wiersze tabeli wyjść. Przy opisie czynności stosowane są umowne symbole oznaczające: \rightarrow proces transportu (przemieszczenia) oraz $*$ proces obróbki (operacji montażu). Poszczególne elementy (wyrazy) tabeli wyjść to numery czynności, które mogą być wykonane przez dany obiekt (numer kolumny) po zakończeniu czynności opisanej w danym wierszu. Zapis taki pozwala na to, że na każdym etapie funkcjonowania systemu wskazywane są wszystkie czynności, których rozpoczęcie jest możliwe ze względu na dostępność obiektów biorących w nich udział, np. zapis $K1, M1 \rightarrow S1$ z liczbą 5 w kolumnie $S1$ oznacza, że po dostarczeniu korpusu $K1$ z magazynu $M1$ do stanowiska $S1$ obiekt $S1$ gotów jest do wykonania czynności nr 5. Dla linii montażowej z rys. 4. przy dokładności opisu procesu wg tablicy 1. tabela wyjść posiada rozmiary 19×30 (19 obiektów, 30 czynności). Fragment tabeli wyjść przedstawiono w tablicy 2.

Tablica 2

Fragment tabeli wyjść.

Nr czynn.	OBIEKT \Rightarrow CZYNNOŚĆ \Downarrow	S 1	S 2	K 1	Ł 1	.....	CZAS [s]
1	START R 1	4	10	4	5	.....	0
4	$K1, M1 \rightarrow S1$	5				.....	20
5	$\text{Ł}1, M1 \rightarrow S1$	6			30	.....	5
6	$\text{Ł}2, M1 \rightarrow S1$	7,26				.....	5
7	$\text{Ł}3, M1 \rightarrow S1$	8				.....	5
8	$\text{Ł}4, M1 \rightarrow S1$	9,20				.....	5
9	$S1, K1 *$	4,19		4,10		.....	240

Aby nie dopuścić do rozpoczęcia czynności możliwej, jednakże w danej fazie procesu niepożądaney, wprowadza się dodatkowo warunki logiczne przyporządkowane niektórym czynnościom. W modelu realizowana jest reguła taktyczna: czynność może być rozpoczęta

jedynie wówczas, gdy spełnione są wszystkie warunki, które zostały jej przypisane. Warunki te stanowią więc opis przyjętego regulaminu pracy oraz ograniczeń funkcjonalnych (np. pojemność magazynów operacyjnych). Zapisywane są w postaci prostych zależności logicznych, wiążących liczniki czynności zakończonych, np. dla systemu z rys. 4. sztywna więź transportowa oznacza możliwość podjęcia następnej operacji na stanowisku dopiero po zakończeniu poprzedniej operacji na wszystkich stanowiskach. Czyli czynność np. nr 4 (dostawa korpusu K1 do stanowiska S1) może być wykonana, gdy dodatkowo spełniony jest warunek:

$$N_9 = N_{12} = N_{14} = N_{16} = N_{18}$$

gdzie: $N_9 - N_{18}$ - liczniki czynności wykonywanych na stanowiskach S1 - S5.

Symulacja systemu, przeprowadzana na potrzeby planowania operatywnego, realizowana jest przez czas niezbędny do wykonania założonego zadania produkcyjnego, tzn. kryterium przerwania symulacji jest wykonanie określonej liczby wyrobów dla każdej zadanej wersji konstrukcyjnej.

Po zakończeniu symulacji określa się:

- czas realizacji zadania;
- liczbę niezbędnych do montażu elementów;
- termin zapotrzebowania na elementy montowane równy terminowi czynności pobrania.

Tablica 3

Termin pierwszego zapotrzebowania na montowany element

elem. ⇒ wyrób	Ł 1	Ł 2	Ł 3	Ł 4	W 1	W 2	W 3	W 4	P 1	P 2	P 3
R 1	20	25	30	35	275	280	400	465	530	---	---
R 2	---	---	295	300	---	---	460	525	---	735	---
R 3	445	450	---	---	570	575	---	---	---	---	890

W tablicy 3. przedstawiono przykładowo terminy użycia pierwszego elementu do montażu (terminy zapotrzebowania) liczone od początku symulacji (wartości t_j wg algorytmu z rys. 3.) dla zadania produkcyjnego realizowanego w kolejności: R1 - R2 - R3.

5. Podsumowanie

Realizacja symulacji systemu możliwa jest już po przygotowaniu danych (tabela wyjść, warunki logiczne) bez konieczności adaptacji samego programu komputerowego. Należy podkreślić, że przygotowanie danych nie wymaga znajomości merytorycznej samej metody, a tylko prostych zasad budowy tabeli wyjść. Stosunkowo pracochłonny proces jej przygotowania

(szczególnie dla większych systemów) może być wspomagany specjalnie do tego celu przygotowanym programem komputerowym. Możliwość symulacji pracy montażu na etapie planowania operatywnego pozwala na określenie minimalnego poziomu zapasów obrotowych („bezpiecznego” organizacyjnie). Jeżeli określona jest minimalna wielkość jednorazowej dostawy n_{ij} , to uzupełnienie przedstawionego modelu symulacyjnego algorytmem wg rys. 3. pozwala na określenie listy elementów do montażu z terminem dostawy wg zasad JIT.

Przedstawiony przykład systemu nie stanowi linii o dużym stopniu elastyczności, gdzie występuje proces montażu części różnego typu na tym samym stanowisku. W trakcie symulacji zachodzi wówczas konieczność bieżącej aktualizacji zbioru elementów (obiektów) biorących udział w procesie. Możliwość taka istnieje (podobnie jak w metodzie sieci kolorowanych) w metodzie macierzowej symulacji.

LITERATURA

1. Cyklis J., Pierzchała W.: Simulation and Control of FMS on its Operational level. 6th Symposium on Information Control Problems in Manufacturing Technology INCOM '89, Madrid 1989, pp. 162-167.
2. Cicciola P., Groppett R.: On the Modelling and Simulation of Flexible Assembly Systems using coloured Petri-Net. XXX International Matador Conference, Manchester 1993, pp. 65 -73.
3. Dolińska M.: Zintegrowane systemy zarządzania produkcją - MRP II, JIT. *Ekonomika i Organizacja Przedsiębiorstwa*, nr12, 1995, ss. 14 - 16.
4. Pierzchała W., Rusinek S.: Symulacja macierzowa krótkoterminowego planu produkcyjnego dla systemu FMS - P1000. *Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, s.Automatyka*, z. 101, Gliwice 1990, ss. 215 - 225.

Recenzent: Prof.dr inż. Henryk Kowalowski

Wpłynęło do Redakcji do 30.06.1996 r.

Abstract

The paper presents some problems connected with manufacturing planning according to Just in Time (JIT) rules. The planning algorithm is based on the simulation model of assembly system.

Short - range planning makes high organisation and time demands on the supply assembly system (production, co-operation, transport).

JIT method minimises buffer stock in the assembly process. To fulfil this requirement for various part production and short time orders a compromise solution is needed. The assembly system works in local techno-economic conditions (transport cost, economical batch size).

The simulation of the assembly process allows to define a supply schedule in advance. The planning algorithm, basing on assembly simulation, specifies the delivery dates according to a „pull” rule taking into account order dates and batch size.