

Sebastian SANIUK\*, Damian KRENCZYK\*\*, Zbigniew BANASZAK\*

\*Politechnika Zielonogórska, \*\*Politechnika Śląska

## WERYFIKACJA ZLECEŃ PRODUKCYJNYCH W SYSTEMACH JEDNOCZESNEJ WIELOASORTYMENTOWEJ PRODUKCJI RYTMICZNEJ

**Streszczenie.** Praca przedstawia koncepcję metodyki szybkiej weryfikacji zleceń produkcyjnych w warunkach występowania deterministycznych ograniczeń logistycznych. Dla danych specyfikacji systemu produkcyjnego oraz zleceń produkcyjnych metodyka ta umożliwia, w trybie „on-line”, ocenę możliwości terminowej realizacji nowo wprowadzanych zleceń produkcyjnych. Efektywność proponowanej metodyki zweryfikowana została pod kątem nakładów czasowych związanych z jej wykorzystaniem w porównaniu z metodą symulacji. Porównania efektywności dokonano za pomocą pakietu Taylor for Windows.

## PROTOTYPING OF PRODUCTION ORDERS FOR REPETITIVE AND CONCURRENT FLOW MANUFACTURING

**Summary.** In the paper a concept of production orders rapid prototyping methodology subject to systems logistics constraints is considered. On the base of a manufacturing system and production orders specification it allows one to evaluate a due date newly introduced work order completion in an on-line mode. Time consumption required by the method is verified, and the Taylor for Windows serves as a reference basis.

### 1. Wstęp

Konkurencyjne jest to przedsiębiorstwo, które potrafi zorganizować przepływ produkcji gwarantujący większą efektywność systemu wytwórczego, gwarantując jednocześnie pełne zaspokojenie potrzeb klienta [4]. Atutem takiego wytwórcy jest szybkość udzielania wiążących odpowiedzi zarówno w zakresie możliwości przyjęcia zlecenia produkcyjnego, jak i gwarancji terminowej jego realizacji. Ma to szczególne znaczenie w sytuacjach, gdy w systemie (realizującym pewną produkcję) nie wszystkie jego dostępne moce produkcyjne są w pełni wykorzystane. Potrzeba pełnego wykorzystania mocy produkcyjnych rodzi konieczność szybkiej, wstępnej selekcji zgłaszanych zleceń. Dokonywany wybór winien optymalizować stopień wykorzystania zasobów systemu, gwarantując jednocześnie niezakłócony przebieg dotychczasowo realizowanej produkcji oraz terminowe zakończenie nowego zlecenia [2], [3].

Efektywność wykorzystywanych w praktyce narzędzi komputerowo wspomaganego planowania produkcji, w tym systemów klasy MRP II [4], w wielu przypadkach okazuje się niewystarczająca. Dzieje się tak głównie za sprawą czasochłonnych metod symulacji komputerowej, wykorzystywanych w zadaniach decyzyjnych poziomu sterowania operatywnego. Oznacza to, iż w wielu praktycznych sytuacjach czas oczekiwania na wyznaczenie optymalnego rozwiązania znacznie przekracza czas przeznaczony na weryfikację analizowanego zlecenia.

Prezentowane w pracy podejście umożliwia weryfikację przyjmowanych zleceń produkcyjnych pod kątem możliwości ich terminowej realizacji. Podejście to stanowi rozwinięcie metodyki zaproponowanej w [2]. W odróżnieniu od pierwowzoru, oprócz ograniczeń związanych z dostępną pojemnością magazynów przystanowiskowych, brane są również pod uwagę ograniczenia logistyczne, wnoszone przez charakterystyki wykorzystywanego systemu transportowego, między innymi liczbę i dostępne pojemności wykorzystywanych wózków samojezdnych, szybkości wózków, itp.

Na podstawie przedstawionego w rozdziale 2 modelu systemu wieloasortymentowej produkcji rytmicznej, w rozdziale 3 przedstawiona została procedura weryfikacji zleceń produkcyjnych. Przykłady eksperymentów komputerowych, porównujące efektywność proponowanej metodyki na tle symulacji w systemie TAYLOR, przedstawione zostały w rozdziale 4.

## 2. Model systemu jednoczesnej, wieloasortymentowej produkcji rytmicznej

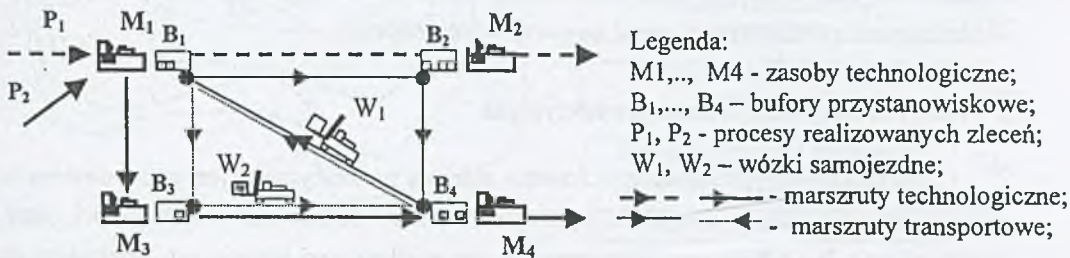
Dany jest system wieloasortymentowej produkcji rytmicznej (rys.1), składający się ze: zbioru maszyn technologicznych  $\{M_i | i = 1, \dots, m\}$ , zbioru procesów produkcyjnych wyrobów  $\{P_j | j = 1, \dots, n\}$ , zbioru magazynów przystanowiskowych  $\{B_k | k = 1, \dots, m\}$ , magazynu wejścia-wyjścia oraz zbioru wózków samojezdnych  $\{W_z | z = 1, \dots, f\}$ . Przyjmuje się, że wózki samojezdne poruszają się cyklicznie wzdłuż z góry zadanych tras.

### 2.1. Model przepływu produkcji

Rozważany model przyjmuje następujące założenia [3]:

- zlecenie produkcyjne realizowane w systemie określone jest przez: wielkość zlecenia, termin realizacji, proces produkcyjny specyfikowany przez marszrutę z określonymi czasami operacji technologicznych oraz przygotowawczo-zakończeniowymi na poszczególnych zasobach, wielkość i okres wprowadzania partii produkcyjnej;
- każda marszruta przebiega tylko raz przez dany zasób;
- każdy proces jest sekwencją skończonej liczby operacji określonych marszrutą;

- rozpoczęcie kolejnej operacji następuje po zakończeniu operacji ją poprzedzającej pod warunkiem: wykonania operacji transportowej do zasobu następnego, dostępności zasobu następnego oraz przygotowania zasobu do obróbki danego wyrobu;
- czasy operacji technologicznych i transportowych są liczbami naturalnymi;
- dostęp procesów do zasobów dzielonych realizowany jest w trybie wzajemnego wykluczania;
- operacje transportowe wykonywane są za pośrednictwem wózków samojezdnych poruszających się cyklicznie po zadanych marszrutach transportowych.



Rys.1. Struktura przepływu produkcji  
Fig.1. Workflow structure

## 2.2. Ograniczenia logistyczne

Rozpatrywane w systemie ograniczenia logistyczne, obejmujące ograniczenia związane z parametrami systemu transportu bliskiego i magazynowania, mają charakter deterministyczny. Zakłada się, że dana jest:

- skończona pojemność każdego z buforów przystanowiskowych;
- skończona liczba wózków samojezdnych o zadanej pojemności;
- wykluczająca kolizje struktura tras wózków samojezdnych (marszruty transportowe);
- specyfikacja okresów powtarzalności przejazdu wózków po wybranych trasach;
- specyfikacja czasów przejazdu wózka pomiędzy sąsiednimi zasobami.

Przeływ produkcji odbywa się partiami. Wielkość partii poszczególnych asortymentów produkcji determinują parametry zlecenia takie, jak: termin uruchomienia zlecenia, okres wprowadzania partii produkcyjnej, zapotrzebowanie na liczbę i pojemność wózków samojezdnych oraz zapotrzebowanie na pojemności buforów przystanowiskowych.

Przyjmuje się, że przepływ produkcji w fazie przebiegu ustalonego charakteryzuje wielkość okresu równa najmniejszej wspólnej wielokrotności okresów wprowadzania partii produkcyjnych aktualnie realizowanych procesów. Podobnie okres systemu transportowego determinuje najmniejsza wspólna wielokrotność okresów poszczególnych wózków samojezdnych:  $T_w = \text{NWW}\{T_{w_1}, T_{w_2}, \dots, T_{w_r}\}$ . Oznacza to, że okres systemu w trybie ustalonego przepływu produkcji wynosi:  $T = \text{NWW}\{T_w, T_1, T_2, \dots, T_n\}$ .

### 2.3. Sformułowanie problemu

Dany jest system produkcyjny o nie w pełni wykorzystanych zdolnościach produkcyjnych, spełniający wymienione ograniczenia. Znany jest zbiór oferowanych zleceń produkcyjnych. Rozważany problem sprowadza się do odpowiedzi na następujące pytanie: Które ze zbioru zleceń może zostać zrealizowane w systemie? Poszukiwane rozwiązanie winno gwarantować terminowe ukończenie nowo wprowadzanego zlecenia, a jego realizacja nie może zakłócać wykonania pozostałych zleceń (tzn. planowanych terminów ukończenia). Poszukiwane rozwiązanie problemu sprowadza się do wyznaczenia zbioru dopuszczalnych wielkości partii produkcyjnych nowo wprowadzanego zlecenia.

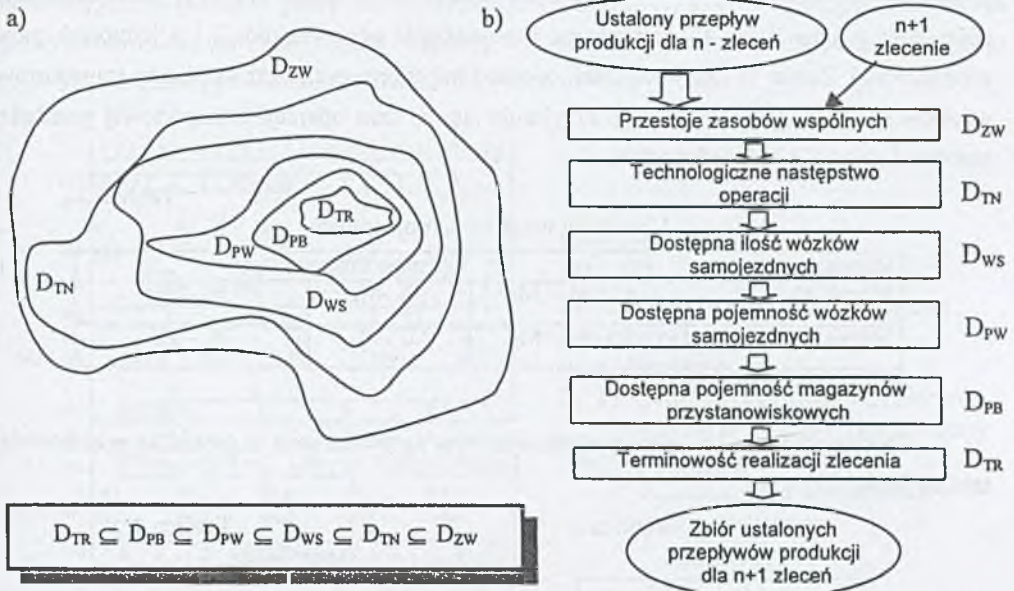
### 3. Metodyka weryfikacji zleceń produkcyjnych

Decyzja o przyjęciu (dobrze) nowego zlecenia produkcyjnego jest podejmowana w sześciu etapach: **Etap 1** polega na wyznaczeniu zbioru dopuszczalnych wielkości partii produkcyjnych  $D_{ZW}$ . Zbiór ten determinowany jest wielkościami istniejących przestojów na zasobach wspólnych występujących w marszrucie technologicznej nowo wprowadzanego zlecenia. W **etapie 2** wyznaczany jest podzbiór  $D_{TN} \subseteq D_{ZW}$  elementów, dla których możliwe jest wyznaczenie przebiegu ustalonego spełniającego warunki technologicznego następstwa operacji oraz zagwarantowany jest niezakłócony przebieg aktualnie realizowanych zleceń. **Etap 3** to wyznaczenie podzbioru  $D_{WS} \subseteq D_{TN}$  elementów, dla których istnieje wystarczająca liczba wózków samojezdnych dla zrealizowania wszystkich operacji transportowych. Celem **etapu 4** jest wyznaczenie podzbioru  $D_{PW} \subseteq D_{WS}$  elementów, dla których dostępne pojemności wózków samojezdnych gwarantują wykonanie wszystkich operacji transportowych na zadanych partiach transportowych. **Etap 5** sprowadza się do zawężenia zbioru  $D_{PW}$  do elementów, dla których istnieje wystarczająca pojemność buforów przystanowiskowych (gwarantująca realizację wszystkich operacji magazynowania). Efektem tego etapu jest wyznaczenie zbioru  $D_{PB}$ . W ostatnim etapie następuje wyznaczenie podzbioru  $D_{TR} \subseteq D_{PB}$  elementów, dla których możliwa jest terminowa realizacja nowego zlecenia.

Przedstawione postępowanie prowadzi do wyznaczenia zbioru dopuszczalnych wielkości partii produkcyjnych  $D_{TR} \subseteq D_{PB} \subseteq D_{PW} \subseteq D_{WS} \subseteq D_{TN} \subseteq D_{ZW}$ . Dopuszczalne są zatem te warianty organizacji produkcji, dla których istnieje partia produkcyjna, której wielkość umożliwia terminową realizację zlecenia przy niezakłóconym przepływie aktualnie realizowanych procesów. Sekwencję testów dokonywanych podczas wyznaczania zbioru rozwiązań dopuszczalnych ilustruje rys. 2a.

Ustalenie dopuszczalnego wariantu organizacji przepływu produkcji realizowane jest na podstawie sekwencji warunków wystarczających, ograniczających wyjściowy zbiór rozwiązań dopuszczalnych (rys. 2b). Każda wielkość partii ze zbioru  $D_{TR}$  odpowiada jednemu

z dopuszczalnych, ustalonych przepływów produkcji nowo wprowadzanego zlecenia. Gdy zbiór  $D_{TR}$  jest zbiorem pustym, oznacza to, że zlecenie nie zostanie przyjęte do realizacji.



Rys.2. Metodyka wariantowania zleceń produkcyjnych: a) wyznaczanie dopuszczalnych wielkości partii produkcyjnych, b) sekwencja sprawdzeń warunków wystarczających  
 Fig.2. Methodology of production order prototyping: a) determining of admissible batch sizes, b) the order of sufficient conditions examination

4. Weryfikacja metodyki – eksperyment komputerowy

Celem przeprowadzonego eksperymentu jest zweryfikowanie efektywności proponowanej metodyki przeglądu warunków wystarczających. Porównanie zostało dokonane pomiędzy programową implementacją procedury weryfikacji zleceń produkcyjnych a programem symulacyjnym zaimplementowanym w systemie Taylor for Windows [5].

Dane wejściowe. W eksperymencie wykorzystano dane udostępnione przez istniejące polskie przedsiębiorstwo [4]. Zakłada się, że w systemie (rys.1) realizowane są dwa asortymenty wyrobów. Program produkcji przedstawia tablica 1.

Tablica 1

Program produkcji

LP.	Nazwa	Liczba operacji w procesie	Wielkość serii	Liczba jednostek (po 1 sztuk)
1.	Walek stożkowy	2	100	100
2.	Walek zębaty stożkowy	3	100	100

Ograniczenia logistyczne systemu obejmują: pojemność  $\xi_k$  magazynów przystankowych  $B_k$ . Wynosi ona dla wszystkich magazynów:  $\xi_k=3$  jednostki partii produkcyjnej. W systemie występują dwa wózki samojezdne  $W_1$  i  $W_2$ . Dopuszczalna pojemność wózka  $W_1$  i  $W_2$  pozwala na przewiezienie odpowiednio: 2 i 3 jednostek partii produkcyjnej. Znane są czasy realizacji operacji transportowych oraz marszruty transportowe wózków samojezdnych (tablica 2). Przyjmuje się, że czas operacji transportowej pomiędzy zasobami wynosi 1 jednostkę czasu.

Tablica 2

Marszruty wózków samojezdnych

Nazwa	okres	Operacje transportowe		
Wózek $W_1$	$T_{W_1} = 3$	$M_1 - M_2$	$M_2 - M_4$	$M_4 - M_1$
Wózek $W_2$	$T_{W_2} = 3$	$M_1 - M_3$	$M_3 - M_4$	$M_4 - M_1$

Zestawienie planów operacyjnych wyrobów wytwarzanych w gnieździe przedstawiają tablice 3 i 4.

Tablica 3

Zlecenie 1

Nr operacji	1	2
Stanowisko	$M_1$	$M_2$
tpz	2	1
tj	2	5

Tablica 4

Zlecenie 2

Nr operacji	1	2	3
Stanowisko	$M_1$	$M_3$	$M_4$
tpz	1	1	2
tj (10 sztuk)	1	3	3

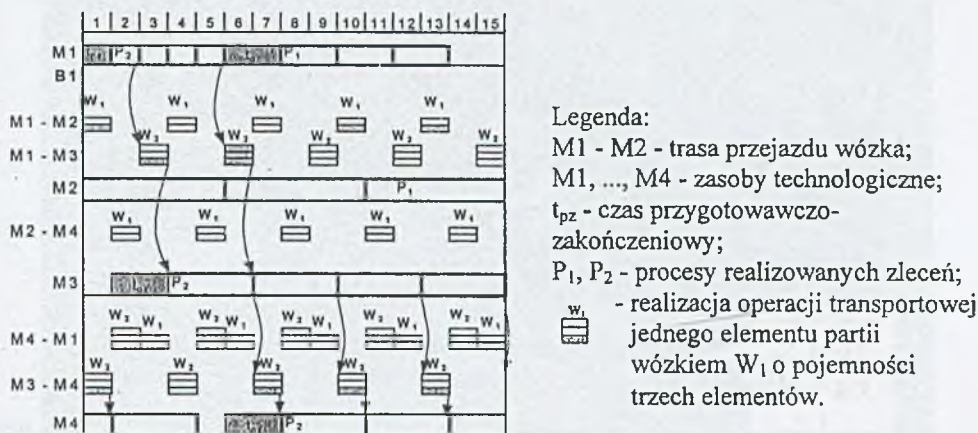
W systemie realizowane jest zlecenie  $Z_1$  z partią produkcyjną  $b_1=3$ . Do systemu planowane jest wprowadzenie zlecenia  $Z_2$ . Planowany termin realizacji zlecenia  $Z_2$  ustalono na 400 jednostek czasu. Poszukiwana jest odpowiedź na pytanie: Czy możliwa jest terminowa realizacja zlecenia  $Z_2$  ze względu na istniejące ograniczenia?

**Metodyka weryfikacji.** W etapie 1 wyznaczana jest wielkość partii produkcyjnej  $b_2$  zlecenia  $Z_2$  ze względu na długość istniejących w systemie przestojów na zasobach wspólnych. Ustalono, iż wielkość partii produkcyjnej  $b_2=4$  gwarantuje realizację zlecenia oraz niezakłócony przebieg aktualnie realizowanego zlecenia  $Z_1$ . W ten sposób wyznaczono zbiór rozwiązań dopuszczalnych  $D_{Z1W}=\{1, \dots, 4\}$ .

W etapie 2 sprawdzono technologiczne następstwo operacji dla wprowadzonego zlecenia  $Z_2$  z partią  $b_2=4$ . Efektem jest zbiór  $D_{TN}=\{1, \dots, 4\}$ .

W etapie 3 sprawdzono czy wprowadzone zlecenie zostanie "obsłużone" dysponowaną liczbą wózków. Na podstawie porównania przepływu materiału wprowadzanego procesu  $P_2$  z marszrutami dwóch dysponowanych wózków  $W_1$  i  $W_2$  (rys. 1) łatwo zauważyć, że odpowiedzialny za przepływ nowego zlecenia jest wózek  $W_2$ .

Na podstawie ustalonego przepływu produkcji oraz rozkładu jazdy wózków dokonywana jest ocena możliwości realizacji zlecenia  $Z_2$  ("nałożenie" na siebie harmonogramu rozkładu jazdy oraz przepływu produkcji (rys.3)). Wspólny okres dwóch podsystemów stanowi najmniejszą wspólną wielokrotność okresu podsystemu transportu ( $T_w=3$ ) oraz okresu podsystemu wytwarzania ( $T=15$ ).



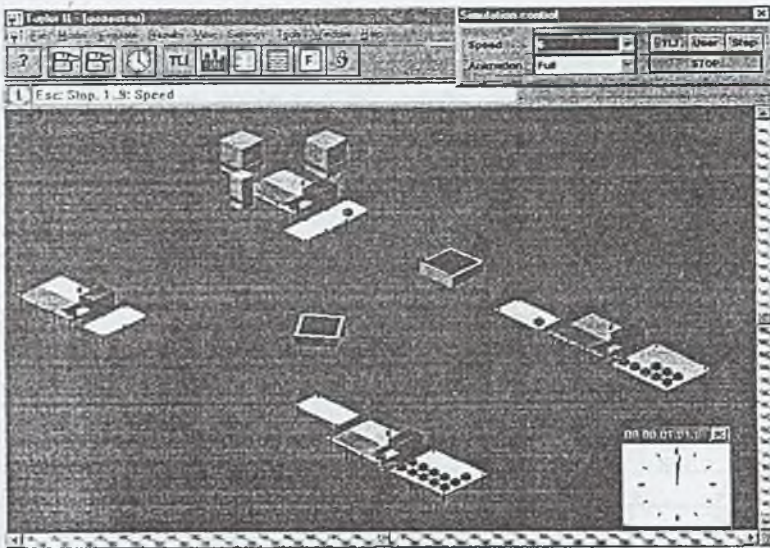
Rys.3. Synchronizacja podsystemu transportu z przepływem materiału  
Fig.3. Workflow and AGVS synchronization

Strzałki (rys.3) oznaczają alokacje elementów partii procesu  $P_2$  na cyklicznie kursującym wózku  $W_2$ . Kursujący w systemie wózek  $W_2$  obsługuje założony przepływ dla partii  $b_2=4$ . W efekcie wyznaczony został zbiór rozwiązań dopuszczalnych  $D_{WS}=\{1, \dots, 4\}$ . W etapie 4 następuje porównanie wielkości przewożonego materiału z dopuszczalną pojemnością wózka. W efekcie wyznaczony jest zbiór  $D_{PW}=\{1, \dots, 4\}$ .

Liczba cyklicznie kursujących wózków w systemie oraz różnice w wydajności maszyn rodzą potrzebę zgromadzenia materiału w buforach przystankowych. Dlatego też, w etapie 5 sprawdzane jest, czy dopuszczalna pojemność buforów jest wystarczająca dla zrealizowania wprowadzanego procesu z założoną wielkością partii. W wyniku przeprowadzonego porównania wyznaczony zostaje zbiór rozwiązań dopuszczalnych  $D_{PB}=\{1, \dots, 4\}$ .

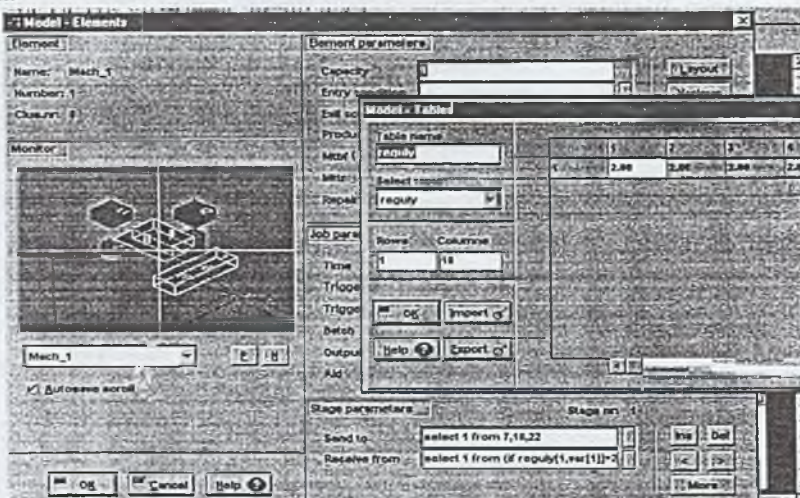
W ostatnim etapie 6 dla każdej wielkości partii ze zbioru  $D_{PB}$  sprawdzony jest termin realizacji zlecenia  $Z_2$ . W wyniku przeprowadzonej analizy zbiór zostaje ograniczony do zbioru jednoelementowego  $D_{TR}=\{4\}$ . Termin realizacji dla  $b_2=4$  wynosi 376 jednostek czasu pracy systemu, co nie przekracza wymaganego terminu określonego przez klienta.

**Eksperyment symulacyjny.** Badany system wytwórczy złożony z czterech obrabiarek CNC, buforów o zadanych pojemnościach oraz podsystemu transportu opartego na cyklicznie kursujących wózkach samojezdnych zamodelowano w pakiecie Taylor for Windows (rys.4).



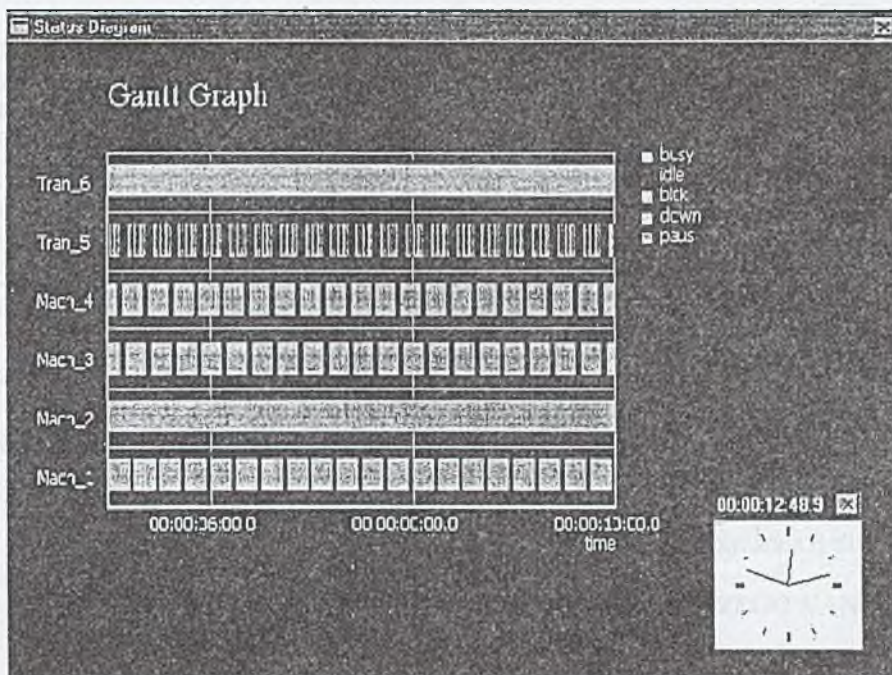
Rys.4. System wytwórczy symulowany w programie Taylor for Windows  
Fig.4. Manufacturing system modeled in Taylor package

W programie wykorzystano identyczne parametry systemu i realizowanych w nim zleceń. Współbieżna realizacja zleceń  $Z_1$  i  $Z_2$  korzysta z zasobu dzielonego, na którym zaalokowana została odpowiednia reguła rozstrzygnięcia konfliktów zasobowych. Reguła ta decyduje o kolejności dostępu procesów współużytkujących zasobów dzielony. Sposób definiowania reguły przedstawia rys.5. Na podstawie raportu i wykresu Gantta (rys.6) generowanego przez system wyznaczony został zasób krytyczny, maszyna  $M_2$  oraz okres systemu (wynoszący 15 jednostek czasu). Zlecenia  $Z_1$  i  $Z_2$  wykonywane są w zakładanych terminach.



Rys.5. Specyfikacja reguły rozstrzygnięcia konfliktów na zasobie dzielnym  $M_1$   
Fig.5. Specification of the dispatching rule assigned to  $M_1$



Rys. 6. Diagram Gantta realizacji zlecenia  $Z_1$  i  $Z_2$ Fig. 6. Gantt's chart of production orders ( $Z_1$  and  $Z_2$ ) realization

**Porównanie poniesionych nakładów.** Przygotowanie i wykonanie eksperymentu w przypadku opisywanej metody weryfikacji zadań zabrało ok. 20 minut. Realizowane obliczenia (sprawdzanie warunków) wykonywane były w arkuszu kalkulacyjnym Microsoft Excel. Przygotowanie odpowiedniego eksperymentu symulacyjnego przy zastosowaniu oprogramowania Taylor zajęło prawie 6 godzin. Warto również zauważyć, że w wyniku zastosowania opracowanej metodyki uzyskiwany jest zbiór dopuszczalnych rozwiązań. W przypadku metody symulacji komputerowej otrzymywane jest jedno rozwiązanie związane programem danego scenariusza realizacji zleceń.

## 5. Zakończenie

Zaproponowana metodyka umożliwia planowanie przepływu wielosortymentowej produkcji rytmicznej w warunkach deterministycznych ograniczeń logistycznych. Pozwala na rezygnację z czasochłonnej, symulacyjnej analizy możliwych wariantów organizacji przepływu produkcji na rzecz sprawdzania sekwencji warunków wystarczających, zachodzenie których odpowiada spełnieniu określonych ograniczeń rozważanego systemu wytwarzania.

## LITERATURA

1. Eversheim W.: Prozessorientierte Unternehmensorganisation – Konzepte und Methoden zur Gestaltung schlanker Organisationen, Springer Verlag, Berlin, Heilderberg, New York 1995.
2. Gattner D.: Algorytmy sterowania przepływem wieloasortymentowej produkcji cyklicznej w warunkach deterministycznych ograniczeń zasobowych, Praca doktorska, Wydział Informatyki i Zarządzania Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 1998.
3. Saniuk S. Skołod B., Muszyński W., Banaszak Z.: Wariantowanie przepływu produkcji rytmicznej w warunkach ograniczeń logistycznych, Zarządzanie produkcją nr 3 - 4 Agenda wydawnicza SIMP 1999.
4. Skołod B.: Planowanie wieloasortymentowej produkcji rytmicznej. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, s. Mechanika, z. 136 , Gliwice 2000.
5. Taylor II for Windows – Simulation software for personal computers 1996 by F&H Simulations B.V. Maliebaan 88, 3518 CX Utrecht, The Netherlands.

Recenzent: Prof.dr hab.inż: M.Zaborowski

**Abstract**

In the paper a concept of production orders rapid prototyping methodology subject to systems logistics constraints is considered. The method should answer on-line the question: If given production orders can be realised in the system determined by free capacities, buffers size and transport limitations (number of trucks and their routes) in due time. The limitation of the set of the solutions is taken into account, and it is corresponds to the checking if the conditions are sufficient. The set of the solutions obtained in this way can be treated as a set of satisfying conditions.

Time consumption required by the method using the computer implementation of this methodology in the job order application system is verified. The identical production system was modelled in the Taylor for Windows application serves as a reference basis. Verification of the functioning and efficiency were provided on the base of repetitive production in known Polish Factory.