

mgr inż. Jarosław Stańczyk, Politechnika Zielonogórska
dr hab. inż. Jerzy Świątek prof. ndzw. Politechniki Wrocławskiej
mgr inż. Sebastian Saniuk, Politechnika Zielonogórska

PLANOWANIE PRZEPEŁYWU PRODUKCJI

W artykule zaprezentowano technikę weryfikacji zleceń w wielo-asortymentowych systemach produkcyjnych, która jest alternatywą dla szeroko stosowanych systemów MRP. Podejście to zastosowano w systemie komputerowym, który dla wybranych zleceń umożliwia między innymi wyznaczanie dopuszczalnych wielkości partii produkcyjnych czy niezbędnych wielkości magazynów.

PRODUCTION FLOW PLANNING

In the paper an approach to verification of production planning in multi-assortment orders is presented. This method was used for designing a computer aided planning production system. This is an alternative method for MRP systems.

1. WPROWADZENIE

Planowanie przepływu produkcji w nowoczesnych systemach wytwarzania wymaga stosowania komputerowych systemów wspomagania. Systemy te wymagają użytkownika przy rozwiązywaniu typowych problemów zarządzania logistycznego, do których należy m.in. planowanie i harmonogramowanie produkcji (ustalenie obciążeń stanowisk, określenie zapasów niezbędnych do realizacji zleceń). Jednym z zadań systemów wspomagania planowania jest poszukiwanie takich marszrut i strategii sterowania, które zapewnią terminową realizację zleceń produkcyjnych [1].

Rozpowszechnione systemy komputerowego wspomagania zarządzania produkcją to zintegrowane, kompleksowe pakiety klasy MRP (ang. Manufacturing Requirements Planning) [4, 6]. Efektem planowania na poziomie taktycznym w tych systemach jest główny harmonogram produkcji. Wyznaczenie planu i harmonogramu produkcji jest realizowane z wykorzystaniem metod opartych na symulacji [3, 7]. Konieczność zaplanowania a następnie zaprogramowania odpowiedniego eksperymentu oraz czasochłonność jego przeprowadzenia składają się na jego złożoność, która w połączeniu z brakiem parametrów i ograniczeń logistycznych stosowanego systemu transportu, zmusza do poszukiwania innych, efektywniejszych podejść.

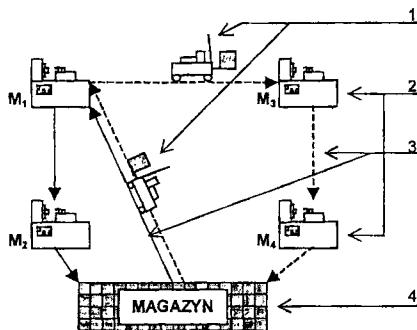
Praca prezentuje alternatywne podejście do systemów wspomagania zarządzania produkcją, stanowiąc alternatywę dla tradycyjnych systemów klasy MRP. Istotą prezentowanego podejścia jest metodyka analityczna, która w odróżnieniu od metod symulacyjnych, weryfikuje zlecenie ze względu na możliwość jego realizacji w danym systemie produkcyjnym. Podstawy tego podejścia można znaleźć w pracach [2, 5].

Celem pracy jest prezentacja komputerowej implementacji metody wspomagania procesu weryfikacji zleceń produkcyjnych, pozwalającej wiarygodnie oceniać możliwość realizacji

zleceń w zadanych terminach, będącej alternatywą do systemów klasy MRP opartych na metodach symulacyjnych.

2. PRZEPIY W PRODUKCJI

Przez elastyczne systemy wytwórcze (ESW) przepływa wiele, różnorodnych, tak pod względem natury, jak i charakteru strumieni, np. strumień materiałów, produktów, odpadów, energii czy informacji. Umiejętne zarządzanie tymi strumieniami jest niezbędne do zagwarantowania niezakłóconego przepływu produkcji. Przepływ produkcji jest realizowany wzdłuż zadanych marszrut technologicznych (rys. 1).



Rys. 1. Schemat przykładowego przepływu produkcji w ESW:

- 1 – wewnętrzny system transportu oparty na wózkach samojezdnych;
- 2 – maszyny technologiczne;
- 3 – przykładowe trasy przejazdu wózków (marszrut transportowe);
- 4 – magazyn wejścia/wyjścia.

2.1. Przykład

Dany jest ESW (rys. 1.), w którym realizowane jest zlecenie P_1 o następujących parametrach: wielkość partii produkcyjnej $b_1=3$, czas przygotowawczo – zakończeniowy dla maszyny M_1 wynosi 2 jednostki czasu, czas operacji na maszynie M_1 wynosi 2 jednostki czasu, czas przygotowawczo – zakończeniowy dla maszyny M_2 wynosi 1 jednostkę czasu, czas operacji na maszynie M_2 wynosi 5 jednostek czasu.

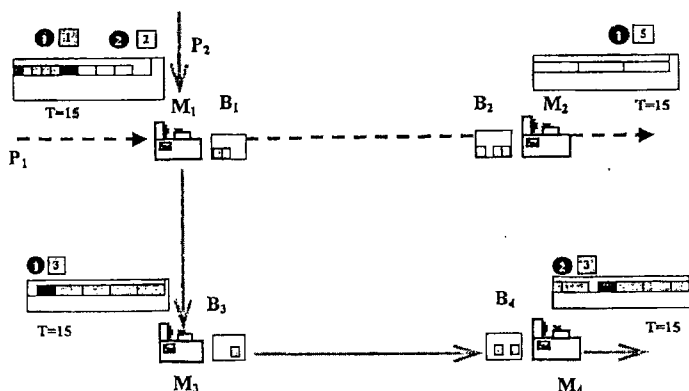
Planowane jest zlecenie P_2 , o parametrach: wielkość partii produkcyjnej $b_2=4$, czas przygotowawczo – zakończeniowy dla maszyny M_1 wynosi 1 jednostkę czasu, czas operacji na maszynie M_1 wynosi 1 jednostkę czasu, czas przygotowawczo – zakończeniowy dla maszyny M_3 wynosi 1 jednostkę czasu, czas operacji na maszynie M_3 wynosi 3 jednostki czasu, czas przygotowawczo – zakończeniowy dla maszyny M_4 wynosi 2 jednostki czasu, czas operacji na maszynie M_4 wynosi 3 jednostki czasu (rys. 2).

Należy określić, czy możliwa jest terminowa realizacja zlecenia P_2 , przy czym realizacja tego zlecenia nie powinna spowodować zmian terminów już realizowanych zleceń.

2.2. Sformułowanie problemu

Dla założeń podanych w poprzednim punkcie sformułowano następujący problem:

Czy w działającym systemie możliwe jest dodanie nowego zlecenia, planowanego do realizacji oraz jego terminowa realizacja, w zadanym ESW, który realizuje już inne zlecenia, nie zakłócając przebiegu zleceń będących już w trakcie realizacji?



Rys. 2. Realizacja zleceń w ESW

Dla systemu wytwórczego, składającego się z maszyn technologicznych, magazynów przy-stanowiskowych, magazynu surowców, magazynu wyrobów gotowych, posłużono się modelem przepływu, który uwzględnia następujące założenia:

- zlecenie produkcyjne realizowane w systemie określone jest przez: wielkość zlecenia, termin realizacji, proces produkcyjny specyfikowany przez marszrutę z określonymi czasami operacji technologicznej na poszczególnych zasobach, wielkość partii produkcyjnej, okres wprowadzania partii produkcyjnej;
- każda marszruta przebiega tylko raz przez dany zasób;
- każdy proces jest sekwencją skończonej liczby operacji, które są wykonywane w kolejności określonej przez marszrutę;
- rozpoczęcie kolejnej operacji następuje po zakończeniu operacji ją poprzedzającej, pod warunkiem dostępności zasobu następnego;
- czasy operacji technologicznych są liczbami naturalnymi;
- dostęp procesów do zasobów dzielonych realizowany jest w trybie wzajemnego wykluczania.

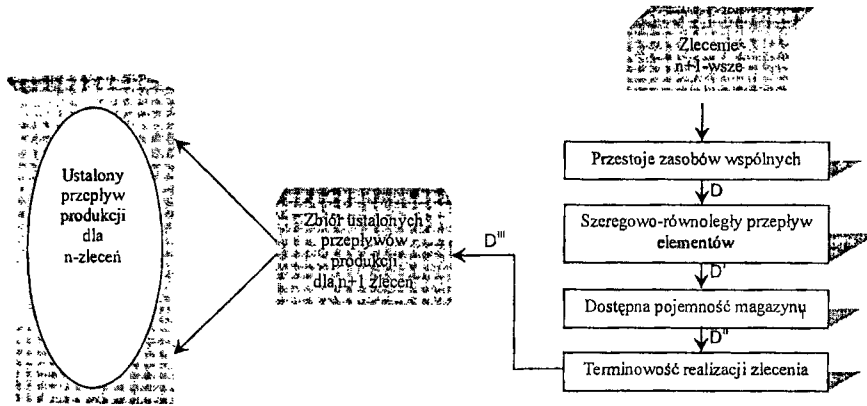
W proponowanym podejściu weryfikacji zleceń produkcyjnych (WZP), kolejne zlecenia są poddawane weryfikacji ze względu na możliwość terminowej realizacji w systemie wytwórczym. Zakłada się, że konflikty w dostępie do zasobów są uwzględnione już na etapie planowania produkcji [2]. Jest to tzw. planowanie z uwzględnieniem skończonej wydajności zasobów (ang. finite capacity planning) co pozwala zapobiec powstawaniu blokad i zagrożeń na etapie sterowania operacyjnego, stanowiąc przy tym podstawę zagwarantowania terminowej realizacji zleceń produkcyjnych.

Prezentowane podejście WZP wspomaga podejmowanie decyzji dotyczących możliwości realizacji danego zlecenia przy zadanych ograniczeniach systemu wytwórczego związanych z rezerwami systemu i wymaganiami zleceniodawcy bez konieczności przeprowadzania pracochłonnych symulacji.

Ustalony przepływ produkcji aktualnie realizowanych w systemie n zleceń jest analizowany ze względu na możliwość realizacji $n+1$ -wszego zlecenia. W tym celu bada się (rys. 3):

- wielkość przestojów zasobów wspólnych z marszruty zlecenia Z_{n+1} (pozwala to na wyznaczenie zbioru D dopuszczalnych wielkości partii produkcyjnych),
- możliwość szeregowo-równoległego przepływu elementów dla wielkości partii ze zbioru D (prowadzi to do wyznaczenia podzbioru D^1 zbioru D),

- zapotrzebowanie na pojemność magazynu centralnego (prowadzi to do wyznaczenia podzbioru D^{II} zbioru D^I , w którym pozostają wielkości partii produkcyjnych, dla których istnieje wystarczająca pojemność magazynu),
- możliwość terminowej realizacji zlecenia Z_{n+1} (prowadzi to do wyznaczenia podzbioru D^{III} zbioru D^{II} , w którym pozostają wielkości partii produkcyjnych, dla których możliwa jest terminowa realizacja zlecenia Z_{n+1}).



Rys. 3. Propagacja ograniczeń – etapy projektowania ustalonego przepływu produkcji

Każda wielkość partii ze zbioru D^{III} odpowiada jednemu z dopuszczalnych, ustalonych przepływów produkcji po wprowadzeniu $n+1$ zlecenia. Gdy zbiór D^{III} jest zbiorem pustym oznacza to, że zlecenie nie zostanie przyjęte do realizacji.

Na podstawie analizy ustalonych przepływów produkcji przeprowadzona zostaje procedura wyznaczenia parametrów sterowania rozproszonego przepływem produkcji. Istota wyznaczenia parametrów polega na rekonstrukcji reguł rozstrzygania konfliktów zasobowych, wyznaczeniu pojemności magazynów składowania międzyoperacyjnego, okresu wprowadzania partii produkcyjnych oraz terminu uruchomienia zlecenia dla $b \in D^{III}$.

3. KOMPUTEROWO ZINTEGROWANE PLANOWANIE PRODUKCJI

W celu skrócenia czasu przeprowadzania procesu weryfikacji zleceń produkcyjnych opracowano narzędzie w postaci komputerowej aplikacji wzorowane na przedstawionym powyżej podejściu analitycznym. Dzięki temu jest ono szybsze i bardziej wydajne niż pakiety klasy MRP, które wykorzystują metody symulacyjne.

3.1. System Weryfikacji Zleceń Produkcyjnych

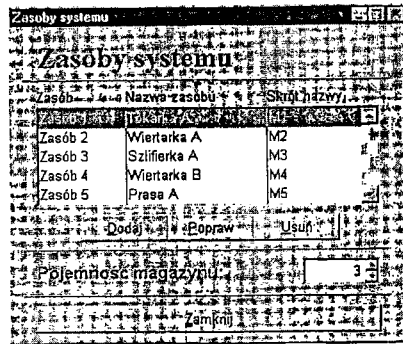
System Weryfikacji Zleceń Produkcyjnych (SWZP) zaimplementowano w środowisku graficznym MS Windows. Środowiskiem programistycznym dla proponowanej aplikacji jest pakiet programowania baz danych – Microsoft Visual FoxPro. Aplikacja, oraz dokumentacja dostępna jest na serwerze: <http://www.iiz.pz.zgora.pl>.

System wspomaga użytkownika w procesie planowania produkcji udzielając odpowiedzi na pytanie: czy możliwa jest terminowa realizacja nowego zlecenia przy istniejących ograniczeniach systemowych oraz niezakłóconym przepływie dotychczas realizowanej produkcji? W przypadku dopuszczenia zlecenia do realizacji, system określa sposób

organizacji przepływu produkcji. W przypadku, gdy terminowa realizacja zlecenia zakłóca przepływ aktualnie realizowanej produkcji, system wskazuje bezpośrednie przyczyny zakłóceń. Ułatwia on również zarządzanie magazynem, oraz planowanie przebiegu przejściowego (rozruchu).

SWZP składa się z czterech podstawowych modułów: specyfikacji zasobów, biblioteki procesów, weryfikacji zleceń i prezentacji wyników.

Wprowadzanie danych podstawowych dotyczących modelu systemu wytwórczego, w którym realizowana jest produkcja, następuje w module specyfikacji zasobów (rys. 4). W module tym można określić liczbę zasobów, ich nazwy oraz pojemność magazynu centralnego. Wprowadzona pojemność magazynu centralnego stanowi całkowitą pojemność wszystkich magazynów międzyoperacyjnych. Magazyny międzyoperacyjne są dynamicznie wydzielane z centralnego magazynu międzyoperacyjnego.



Rys. 4. Moduł specyfikacji zasobów

W module stanowiącym bibliotekę procesów następuje zdefiniowanie marszruty technologicznej procesu w oparciu o dysponowane zasoby. W bibliotece procesów są przechowywane dane o procesie, tzn. kolejność operacji wykonywanych na zasobach systemu; zwane operacji na tych zasobach oraz kolejne zasoby systemu wykorzystywane w danej marszrucie technologicznej.

W module weryfikacji zleceń dokonywana jest ocena możliwości realizacji nowego zlecenia przy jednoczesnym spełnieniu wymaganego terminu realizacji. Przed wykonaniem procedury weryfikacji zleceń następuje wprowadzenie serii zleceń z biblioteki procesów do systemu zdefiniowanego w module definicji zasobów. Ilustrację pracy systemu przedstawia poniższy przykład.

3.2. Przykład

W systemie wieloasortymentowej produkcji rytmicznej, składającym się z czterech zasobów produkcyjnych i magazynu centralnego o pojemności 3 obrabianych elementów, aktualnie realizowane jest zlecenie Z_1 specyfikowane procesam P_1 z partią produkcyjną $b_1 = 3$ (rys. 2).

Każdy proces P_j został opisany macierzą MP_j o wymiarach $p \times q$, gdzie $q = z$ (z - liczba zasobów wykorzystywanych przez proces), $p = 2$, powstała ze złożenia wektorów V_j i C_j . Wektorem V_j nazywamy n-kę, której elementy określają numery zasobów wykorzystywanych przez dany proces produkcyjny:

$$V_j = (v_{1j}, v_{2j}, \dots, v_{zj}), \quad \forall v_{ij} \in N; \quad \forall i \in \{1, 2, \dots, z\},$$

gdzie: z - ilość zasobów w marszrucie P_j ; v_{ij} - i -ta maszyna w marszrucie procesu P_j .

Wektorem C_j nazywamy n-kę, której elementy określają czasy realizacji operacji danego procesu produkcyjnego:

$$C_j = (c_{1j}, c_{2j}, \dots, c_{zj}),$$

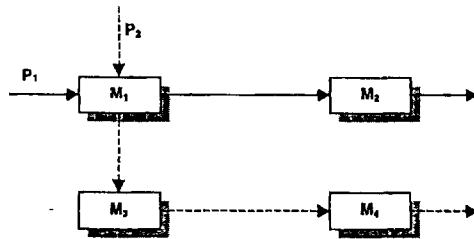
gdzie: z – ilość operacji (zasobów) w marszrucie procesu P_j ; c_{ij} – czas wykonywania i -tej operacji procesu.

Zatem, realizowany w systemie proces P_1 specyfikuje następująca macierz:

$$MP_1 = \begin{bmatrix} V_1 \\ C_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 2 \\ 2 & 5 \end{bmatrix}.$$

Planowane jest wprowadzenie drugiego zlecenia Z_2 specyfikowanego procesem P_2 :

$$MP_2 = \begin{bmatrix} V_2 \\ C_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 3 & 4 \\ 1 & 3 & 3 \end{bmatrix}.$$



Rys. 5. Schemat marszrut procesów P_1 i P_2 realizowanych w systemie

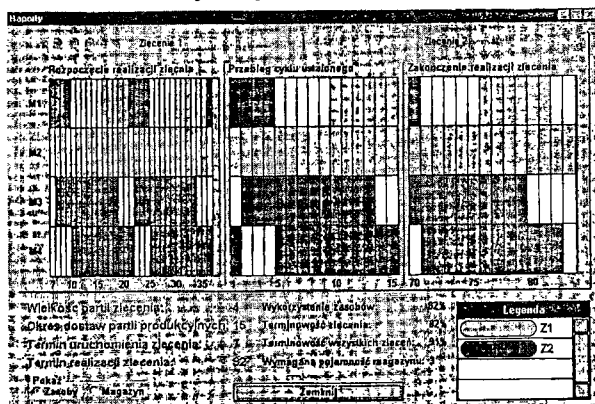
Założony termin realizacji zlecenia Z_2 został ustalony na 100-ną jednostkę czasu. Schemat marszrut procesów P_1 oraz P_2 realizowanych w systemie przedstawia rys. 5. Sposób wprowadzenia zleceń Z_1 i Z_2 do SWZP, w celu określenia możliwości ich wspólnej realizacji w systemie, przedstawia rys. 6.

Zlecenia realizowane w systemie wybiera się z biblioteki procesów, w której zdefiniowane zostały ich marszruty technologiczne. Dodatkowo dla danego zlecenia określa się ilość sztuk, jaka ma zostać wykonana w danym zleceniu oraz termin ich realizacji.

Zlecenia systemu			
1	Zlecenie 1 (Z1)	Element A (P1)	20
2	Zlecenie 2 (Z2)	Element B (P2)	20
Marszruta procesów			
1	Toczenie A (A1)	Tokarka A (M1)	1
2	Szlifowanie A (A2)	Szlifarka A (M3)	3
3	Wiercenie B (A3)	Wierarka B (M4)	3
WERYFIKACJA			

Rys. 6. Moduł weryfikacji zleceń

Moduł prezentacji wyników tworzy graficzną reprezentację stanu systemu wytwórczego przy wprowadzaniu nowego zlecenia – diagram rozpoczęcia realizacji zlecenia oraz przedstawia stan systemu po zrealizowaniu tego zlecenia – diagram zakończenia realizacji zlecenia. Jednocześnie edytuje przebieg ustalony realizowanej produkcji z wprowadzonym zleceniem – diagram przebiegu cyklu ustalonego (rys. 7). Moduł ten ustala również podstawowe parametry dotyczące sterowania. Wskazuje termin rozpoczęcia realizacji danego zlecenia, wyznacza okres wprowadzania partii produkcyjnej oraz alokuje reguły rozstrzygania konfliktów zasobowych. Informuje operatora systemu, z jaką wielkością partii produkcyjnej dane zlecenia mogą zostać zrealizowane. Ponadto dokonywana jest ocena wykorzystania zasobów oraz terminowości realizacji wszystkich zleceń.



Rys. 7. Moduł prezentacji danych – diagram przepływu produkcji

Powracając do przykładu, na podstawie uzyskanych danych, można stwierdzić, że jest możliwe terminowe zrealizowanie zlecenia Z_2 . Dodatkowo operator systemu został poinformowany o wielkości partii z jaką należy realizować zlecenie ($b_2=4$) oraz o terminie zakończenia zlecenia.

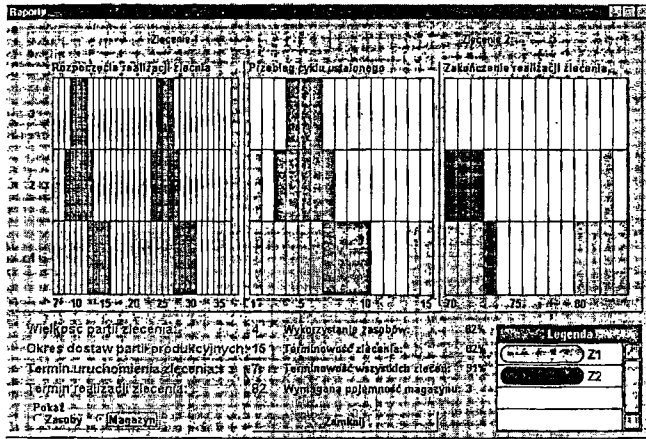
Wprowadzenie nowego zlecenia wiąże się z powiększeniem wymaganej pojemności magazynów międzyoperacyjnych. Toteż system weryfikacji zleceń produkcyjnych dokonuje oceny możliwości zrealizowania dodatkowego zlecenia ze względu na dysponowaną powierzchnię magazynową.

Diagramy przebiegu ustalonego wskazują na poziom zapotrzebowania powierzchni magazynowej dla zrealizowania produkcji w każdej jednostce czasu pracy systemu produkcyjnego (rys. 8). Środkowy diagram ilustruje alokację elementów poszczególnych zleceń w magazynach międzyoperacyjnych w każdej jednostce czasu przebiegu ustalonego.

4. PODSUMOWANIE

Prezentowany komputerowy system weryfikacji zleceń produkcyjnych stanowi efektywne narzędzie wspomagające planowanie i sterowanie przepływem wieloasortymentowej produkcji rytmicznej. System dokonuje oceny możliwości terminowej realizacji zleceń biorąc pod uwagę ograniczenia związane z rezerwami systemu produkcyjnego bez potrzeby przeprowadzania żmudnych symulacji, jak to ma miejsce w przypadku systemów klasy MRP. Planowanie produkcji odbywa się w oparciu o analityczne sprawdzenie warunków wystarczających, gwarantujących niezakłócony przepływ produkcji. Równolegle z decyzją

typu planistycznego (przyjęcie zlecenia do realizacji w systemie produkcyjnym) kreowane są parametry rozproszonego sterowania przepływem produkcji, obejmujące wybór reguł rozstrzygnięcia konfliktów zasobowych i pojemności magazynów składowania międzyoperacyjnego. Oprócz zarządzania magazynem program prezentuje również przebiegi rozruchowe zleceń.



Rys. 8. Moduł prezentacji danych – diagram alokacji magazynowej.

Opisany SWZP jest punktem wyjścia do następnej wersji programu, która będzie uwzględniać ograniczenia logistyczne (transport wewnętrzny), co będzie stanowić istotne rozszerzenie systemów klasy MRP. Opracowanie powyższego programu przyczyniło się m.in. do zdobycia doświadczenia w implementacji analitycznych metod wspomaganie planistycznego, które z pewnością zaowocują przy tworzeniu wersji uwzględniającej zagadnienia transportu.

Dalsze badania zostaną zorientowane na opracowanie reguł analitycznej weryfikacji zleceń z uwzględnieniem transportu wewnętrznego, a także na metody zapobiegania zakłóceniom pojawiającym się w systemie wytwórczym.

LITERATURA

- [1] Eversheim, W.: *Prozeßorientierte Unternehmensorganisation - Konzepte und Methoden zur Gestaltung schlanker Organisationen*, Springer Verlag, Berlin, New York, 1995.
- [2] Gattner D.: *Zarządzanie przepływem wielosortymentowej produkcji rytmicznej: weryfikacja zleceń*, Konferencja Naukowo-Techniczna, AUTOMATION '99, Warszawa, marzec 1999, s.123-130.
- [3] Hromada J., Gregor M., Kusturjak J.: *Simulation of Production Control Strategies. Simulation Study in ARENA*, DYCOMANS WORKSHOP IV, Preprints, Edited by Krzysztof Simek, Zakopane, September 1997, pp. 53-59.
- [4] Landvater D., Gray C.: *MRP II Standard System. A Handbook for Manufacturing Software Survival*, Oliver Wight Limited Publications Inc., Essex, 1995.
- [5] Saniuk S., Gattner D., Mądry M.: *Planowanie przepływem wielosortymentowej produkcji rytmicznej: komputerowy system weryfikacji zleceń produkcyjnych*, VI Międzynarodowa Konferencja Naukowa *Zarządzanie Organizacjami Gospodarczymi*, Łódź, 1999, s.123-133.
- [6] Schollaert F.: *Money Resource Planning – MRP-III*. Library Albert I, Brussels, 1994.
- [7] Spencer M.: *Using „the Goal” in an MRP System*. Production and Inventory Management, Forth Quarter, 1991, pp. 37-43.