

SYSTEM KOMPUTEROWO WSPOMAGANEGO PLANOWANIA PRZEPIYWÓW MATERIAŁOWYCH

Praca przedstawia koncepcję metodyki szybkiej weryfikacji zleceń produkcyjnych oraz jej komputerową implementację. W sytuacji, gdy dany jest opis systemu produkcyjnego i specyfikacja zleceń produkcyjnych, metodyka ta pozwala na wyznaczenie tych spośród zleceń, których realizacja jest możliwa ze względu na planowany termin realizacji. Proponowana metodyka stanowi alternatywę dla tradycyjnie stosowanych, czasochłonnych i pracochłonnych metod planowania produkcji wykorzystujących techniki symulacji komputerowej.

COMPUTER-AIDED WORKFLOW PLANNING

In this paper a new concept of rapid prototyping of the concurrent workflow is presented. It takes into account a rate of a system resources utilisation as well as logistics constraints imposed by assumed AGVS structure. Its software package implementation is described. Besides of a problem formulation an illustrative example of the approach application is presented.

1. WSTĘP

Zindywidualizowany i zróżnicowany popyt oraz możliwości współczesnej technologii wytwarzania są przyczyną rozwoju systemów jednoczesnej produkcji wieloasortymentowej. Produkcja tego typu umożliwia jednoczesne wytwarzanie krótkich serii wyrobów wzdłuż określonych marszrut technologicznych. Korzystanie procesów produkcyjnych ze wspólnych zasobów prowadzi, w ogólnym przypadku, do ich współzawodnictwa, to zaś z kolei wymusza potrzebę wzajemnej ich synchronizacji. Od sposobu synchronizacji zależy zarówno efektywność procesów realizowanych w systemie zasobów jak i stopień wykorzystania zasobów systemu. W tym kontekście, problemy planowania i harmonogramowania produkcji należą do typowych zadań zarządzania logistycznego. Celem nadrzędnym staje się zatem sprawne planowanie produkcji, poszukiwanie związków umożliwiających odpowiedzi na pytania typu: co, gdzie, kiedy oraz w jakiej ilości powinno być dostarczone dla efektywnej (terminowo wykonanej) realizacji produkcji [3]?

Niniejsza praca akcentuje zatem potrzebę uwzględnienia istniejących ograniczeń logistycznych dysponowanego systemu wytwórczego. W szczególności zaś tych jego ograniczeń, które determinują wielkości realizowanych w nim przepływów a zatem jego wydajność. Różnorodność występujących strumieni (strumieni materiałów, produktów, odpadów, energii, informacji, itd.) rodzi potrzebę zarządzania ich przepływem [1], [2].

Planowanie przepływu produkcji na poziomie operacyjnym wymaga uwzględnienia ograniczeń warunkujących odpowiednią jakość realizowanych przepływów. Dotyczy to w szczególności struktury systemu transportu i magazynowania oraz doboru i alokacji reguł wyboru priorytetu. Decyzje tego poziomu podejmowane są najczęściej w oparciu o wyniki przeprowadzanych eksperymentów symulacyjnych, eksperymentów charakteryzujących się

wysoką czasochłonnością i dużą pracochłonnością [1], [3].

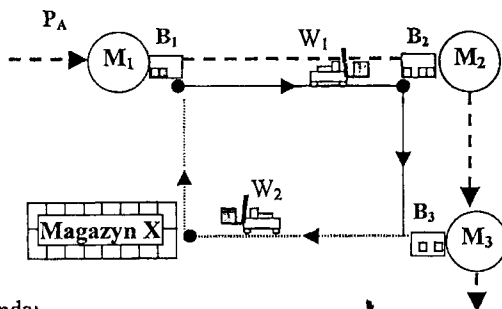
Przedstawiona w pracy metoda stanowi atrakcyjną, pod względem wymaganych nakładów czasowych, alternatywę dla metod symulacji komputerowej; opiera się ona na sprawdzaniu szeregu warunków, spełnienie których gwarantuje określone właściwości planowanego przebiegu produkcji.

Praktycznym ujęciem proponowanego podejścia jest system planowania przepływu produkcji (SPPP) dostępny pod adresem: <http://www.iiz.pz.zgora.pl/ppt/iiz/app.html>.

2. PLANOWANIE PRZEPIYU PRODUKCJI

Proponowana koncepcja weryfikacji zleceń produkcyjnych umożliwia podejmowanie decyzji dotyczących możliwości realizacji nowowprowadzanych zleceń produkcyjnych przy uwzględnieniu ograniczeń związanych z systemem wytwórczym i wymaganiami klienta. Każde zlecenie, będące przedmiotem weryfikacji, charakteryzuje się określonymi parametrami, takimi jak: wielkość zlecenia, termin realizacji, wielkość partii produkcyjnej, okres wprowadzania partii produkcyjnej oraz proces produkcyjny. Realizacja zlecenia weryfikowana jest pod kątem możliwości i ograniczeń podsystemów: wytwórczego oraz transportu i składowania.

W rozpatrywanym przypadku system jednoczesnej, wieloasortymentowej produkcji rytmicznej składa się ze zbioru maszyn technologicznych (obrabiarek CNC) $\{M_i | i = 1, \dots, 3\}$, zbioru procesów produkcyjnych wyrobów $\{P_j | j = 1, \dots, 1\}$, zbioru magazynów przystanowiskowych $\{B_k | k = 1, \dots, 3\}$ każdy o pojemności 1, zbioru wózków $\{W_z | z=1, \dots, 2\}$ poruszających się cyklicznie wzdłuż określonych tras oraz magazynu wejścia-wyjścia X (rys. 1). Przyjmuje się, że istniejący układ tras jezdnych dopuszcza jednokierunkowy i jednopasmowy ruch wózków samojezdnych.



Legenda:

M_1, \dots, M_3 - zasoby technologiczne (obrabiarki CNC);

B_1, \dots, B_3 - bufory przystanowiskowe;

W_1, W_2 - wózki samojezdne (AGV);

--- - marszruta procesu P_A ;

→ - marszruty transportowe wózków samojezdnych W_1 i W_2 .

Rys. 1. Struktura systemu.

Rozważana jest możliwość realizacji zlecenia produkcyjnego wyrobu A. Zlecenie opiewa na 100 sztuk i winno być ukończone w okresie 800 umownych jednostek czasu (u.j.c.). Marszruta technologiczna wyrobu A zadana jest przez sekwencję stanowisk $P_A = M_1 - M_2 - M_3$. Czasy operacji technologicznych wynoszą odpowiednio 3, 8 i 4 u.j.c. Schemat przepływu przedmiotów obrabianych wzdłuż marszruty P_A przedstawia rys.1.

2.1. Sformułowanie problemu

W systemie o znanych, niewykorzystanych mocach produkcyjnych planowane jest wprowadzenie nowego zlecenia. Poszukiwana jest zatem odpowiedź na pytanie: czy możliwa jest terminowa realizacja zlecenia w warunkach występowania ograniczeń logistycznych? Podstawowym warunkiem wprowadzenia nowego zlecenia jest niezakłócony przebieg aktualnie realizowanych procesów. Poszukiwane są zatem następujące warunki wystarczające, których spełnienie zagwarantuje realizację nowowprowadzonego zlecenia:

- warunki determinujące wielkość partii produkcyjnej zlecenia oraz okres ich wprowadzania, gwarantujące ustalony przepływ produkcji przy nie zakłóconym przebiegu zleceń już realizowanych;
- warunki determinujące wielkości partii transportowych;
- warunki gwarantujące ustalony przepływ produkcji ze względu na ograniczenia wynikające z systemu transportu (ilość, pojemność, trasy wózków samojezdnych);
- warunki determinujące pojemności magazynów przystanowiskowych.

2.2. Metodyka weryfikacji zleceń produkcyjnych

Wariantowanie przepływu produkcji w systemie wieloasortymentowej produkcji rytmicznej polega na sprawdzeniu warunków wystarczających, których spełnienie gwarantuje terminową realizację zleceń produkcyjnych w systemie o znanych, niewykorzystanych mocach produkcyjnych. W praktyce, wariantowanie przepływu służy wyznaczeniu takiej wielkości partii produkcyjnej wprowadzanego procesu, która sprostą ograniczeniom systemu. Decyzja o przyjęciu (doborze) zlecenia produkcyjnego jest podejmowana w siedmiu etapach.

Etap 1 polega na wyznaczeniu zbioru dopuszczalnych wielkości partii produkcyjnych D_{ZW} . Zbiór ten determinowany jest wielkościami istniejących przestoju na zasobach wspólnych występujących w marszrucie technologicznej nowowprowadzanego 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.

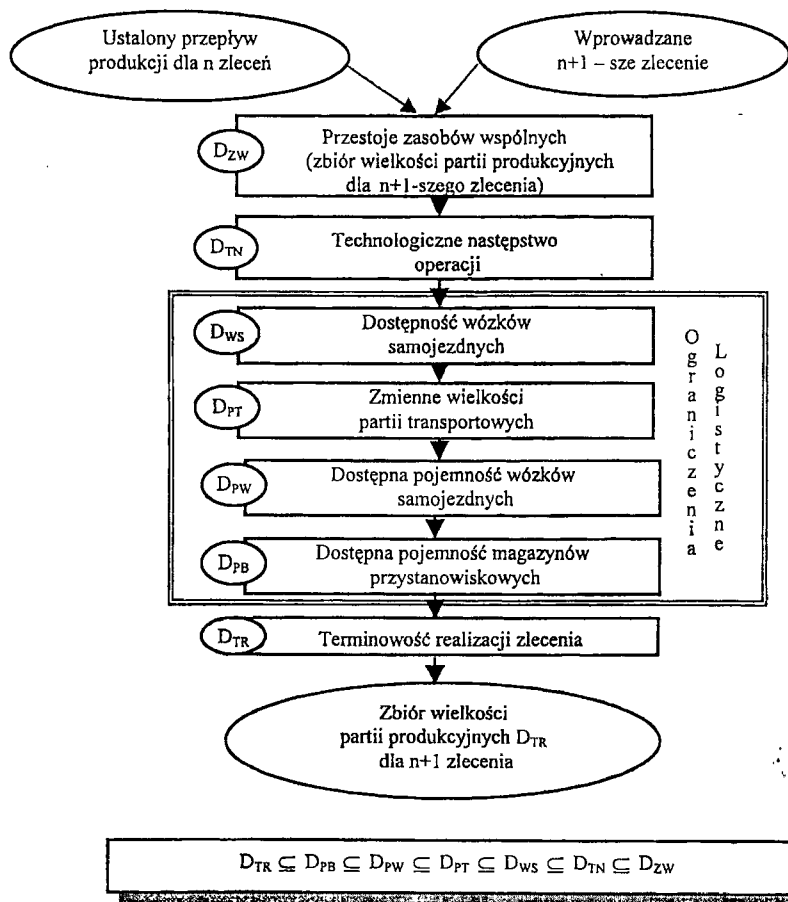
Etap 3 - to wyznaczenie podzbioru $D_{WS} \subseteq D_{TN}$ elementów, dla których istnieje wystarczająca liczba wózków samojezdnych niezbędnych dla zrealizowania wszystkich operacji transportowych.

W *etapie 4* wyznaczany jest podzbiór $D_{PT} \subseteq D_{WS}$ elementów, dla których wyznaczone wielkości partii transportowych gwarantują niezakłócony przepływ aktualnie realizowanej produkcji w systemie.

Celem *etapu 5* jest wyznaczenie podzbioru $D_{PW} \subseteq D_{PT}$ elementów, dla których dostępne pojemności wózków samojezdnych gwarantują wykonanie wszystkich operacji transportowych na zadanych partiach transportowych.

Etap 6 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 7* 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 $D_{TR} \subseteq D_{PB} \subseteq D_{PW} \subseteq D_{PT} \subseteq D_{WS} \subseteq D_{TN} \subseteq D_{ZW}$. Dopuszczalne są zatem te warianty organizacji produkcji, dla których istnieje partia produkcyjna, wielkość której umożliwia terminową realizację zlecenia przy nie zakłóconym przepływie aktualnie realizowanych procesów. Sekwencję testów dokonywanych podczas wyznaczania zbioru rozwiązań dopuszczalnych ilustruje rys. 2.



Rys. 2. Propagacja ograniczeń.

Ustalenie dopuszczalnego wariantu organizacji przepływu produkcji realizowane jest w oparciu o sekwencję warunków wystarczających, ograniczających wyjściowy zbiór rozwiązań dopuszczalnych. Każda wielkość partii ze zbioru D_{TR} odpowiada jednemu z dopuszczalnych, ustalonych przepływów produkcji nowoprowadzanego zlecenia. Gdy zbiór D_{TR} jest zbiorem pustym, oznacza to odrzucenie zlecenia.

3. KOMPUTEROWY SYSTEM PLANOWANIA PRZEPLÝWU PRODUKCJI

Proponowana metodyka szybkiej weryfikacji zleceń produkcyjnych została zaimplementowana w pakiecie o nazwie **System Planowania Przepływu Produkcji (SPPP)** [5]. Podstawowym celem aplikacji jest pomoc w podejmowaniu decyzji przy projektowaniu organizacji przepływu produkcji rytmicznej oraz przyjmowaniu nowych zleceń do realizacji w systemie. Pozwala w szybki sposób odpowiedzieć na pytanie: czy możliwa jest terminowa realizacja nowoprowadzanego zlecenia w systemie o znanych i niewykorzystanych mocach produkcyjnych. Przeprowadzenie procedury weryfikacji zleceń wymaga specyfikacji danych wejściowych, dotyczących zarówno parametrów systemu produkcyjnego, jak i parametrów

realizowanych zleceń. Specyfikacja parametrów systemu produkcyjnego obejmuje informacje o liczbie zasobów technologicznych, buforów przystanowiskowych, ich pojemnościach, liczbie i pojemnościach wózków samojezdnych, strukturze tras systemu transportu bliskiego i magazynowania oraz rozkładzie jazdy wózków. Wprowadzane parametry zleceń produkcyjnych obejmują liczbę planowanych zleceń, specyfikację procesów produkcyjnych, wielkości i terminy realizacji.

W przypadku dopuszczenia zlecenia do realizacji, system określa sposób organizacji przepływu produkcji. Jednak, gdy rozwiązanie nie gwarantuje terminowości bądź niezakłóconego przepływu aktualnie realizowanej produkcji, wówczas system wskazuje bezpośrednie przyczyny odrzucenia nowowprowadzanego zlecenia.

Wynikiem działania pakietu, w przypadku akceptacji nowowprowadzanego zlecenia, jest ponadto wyznaczenie:

- zbioru dopuszczalnych wielkości partii produkcyjnych;
- terminu realizacji zlecenia dla przyjętej wielkości partii;
- terminu uruchamiania zlecenia gwarantującego dotrzymanie planowanego terminu;
- wielkości wskaźników jakościowych systemu;
- okresu dostaw partii produkcyjnych;
- diagramów obciążeń zasobów technologicznych, wózków samojezdnych oraz magazynów przystanowiskowych.

Jednocześnie, odpowiedzi systemu towarzyszy wykaz alokowanych reguł wyboru priorytetu, koordynujących przepływ planowanej produkcji w systemie oraz działanie systemu transportu bliskiego i magazynowania wraz z wektorem ich aktywacji.

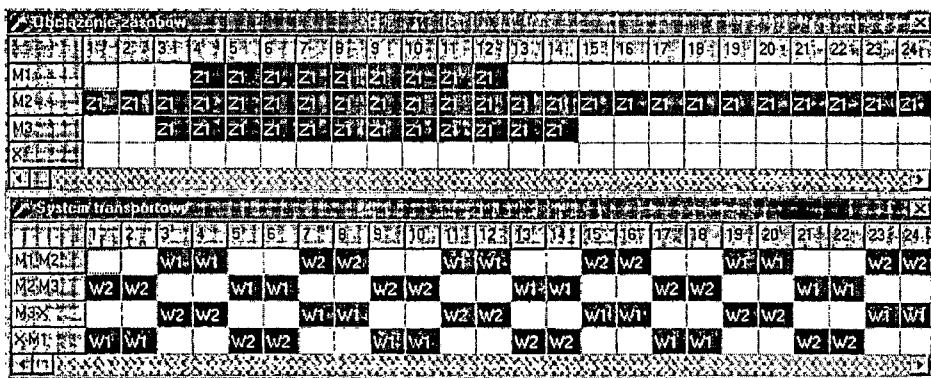
4. SYNCHRONIZACJA PRZEPLÝWÓW

W proponowanym podejściu kluczowe znaczenie przypisuje się mechanizmowi synchronicznego wprowadzania kolejnych partii produkcyjnych. Wydaje się, że rolę takiego mechanizmu może spełniać system transportu wewnętrznego i magazynowania. Wykazaniu tej tezy poświęcona jest dalsza część rozważań prowadzonych w tym rozdziale. Dla zilustrowania tych rozważań posłużono się omówionym w poprzednim rozdziale pakietem SPPP.

Dany jest system o strukturze jak na rys.1. Zachowanie rozważanego systemu transportu charakteryzuje cykliczność przejazdów wózków samojezdnych (każdy wózek ma ten sam cykl), pojemność wózków oraz faza wzajemnego przesunięcia (dystans czasowy oddzielający momenty przejazdu kolejnych wózków przez ten sam punkt trasy jezdnej). Powstaje pytanie: Jak system transportowy (jego struktura i organizacja) wpływa na realizację planowanego przepływu materiałowego? W szczególności zaś rodzą się pytania: Czy system transportu materiałów można wykorzystać jako mechanizm synchronizujący zadany, terminowy spływ materiałów? Jaki jest związek występujący pomiędzy cyklem systemu transportowego, taktem produkcji (cyklem przepływu produkcji), a pojemnością magazynów składowania międzyoperacyjnego?

W większości przypadków przedstawione pytania pozostają, niestety, ciągle otwarte. Wydaje się jednak, że w każdym szczególnym przypadku, odpowiedzi takie istnieją. Potwierdzenie tej możliwości stanowi diagram Gantt'a (Rys.3), przedstawiający przepływ materiałów i wspomagających go wózków samojezdnych podczas realizacji trzejelementowej partii procesu P_A .

Celem uproszczenia rozważań, przy sporządzaniu tego diagramu, przyjęto, że z magazynu wejścia – wyjścia X , na wejście pierwszego zasobu marszruty oczekuje jeden (nowowprowadzany do obróbki) przedmiot, każdy wprowadzony przedmiot po zakończeniu cyklu technologicznego natychmiast znika.

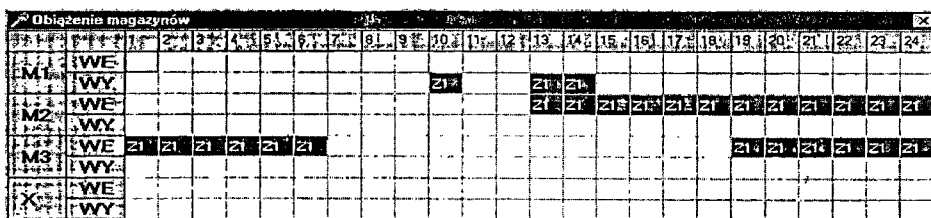


Legenda:

M₁, M₂, M₃ – zasoby technologiczne; W₁, W₂ – wózki samojezdne; M₁–M₂ – trasy wózków; Z₁ – realizacja zlecenia.

Rys. 3. Diagram Gantt'a przepływu produkcji wyrobu A.
(Względna faza wózków wynosi 4 u.j.c.)

Ze względu na występujące różnice pomiędzy okresem pracy wózków (w rozważanym przypadku każde stanowisko obsługiwane jest co 4 u.j.c.), a wydajnością maszyn (stanowisko M₂ rozpoczyna nową operację co 8 jednostek) wymagana jest alokacja buforów o zadanych pojemnościach. Strukturę zajętości buforów przystanowiskowych podczas realizacji zlecenia Z_A ilustruje rys. 4.



Legenda:

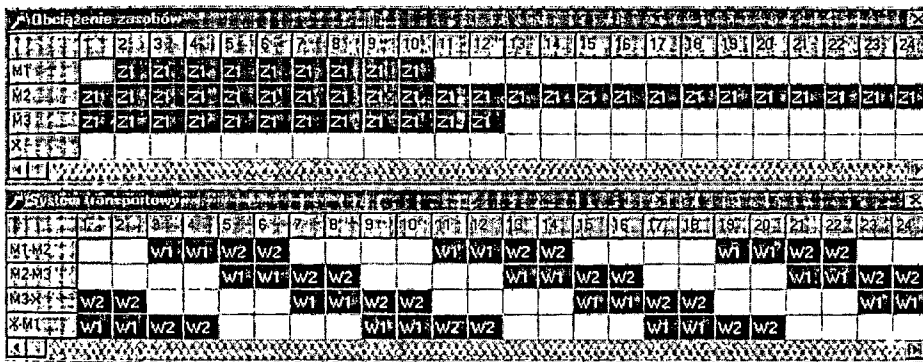
M₁(WE, WY), M₂(WE, WY), M₃(WE, WY) – buforzy zasobów technologicznych; X – magazyn wejścia – wyjścia; Z₁ – alokacja elementów w buforach.

Rys. 4. Diagram obciążeń buforów przystanowiskowych podczas produkcji wyrobu A.
(Względna faza wózków wynosi 4 u.j.c.)

Obserwowany przepływ produkcji i alokacji elementów w buforach odpowiada sytuacji, w której cykl przejazdu obu wózków samojezdnych wynosi 8, a przesunięcie w fazie 4 u.j.c. Przyjęty cykl pracy wózków umożliwia obsługę przepływu materiałowego produkcji wyrobu A, przy czym wąskim gardłem tego przepływu pozostaje stanowisko M₂. Łatwo zauważyć, że elementami krytycznymi systemu transportowego, elementami decydującymi o maksymalnym przepływie materiałów (limitowanym jedynie przez wąskie gardło stanowiska M₂), są cykl pracy wózków, liczba wózków, pojemność wózków oraz wielkości względnych faz przesunięcia przejazdu wózków.

W przypadku systemu transportowego z pojedynczym wózkiem samojezdnym wymagany cykl przejazdu nie może być niższy od tego, który pozwala odwiedzać mu kolejne stanowiska w rytmie wyznaczonym przez takt wąskiego gardła. Wolniejsze przejazdy wózka spowodowałyby przestoje na stanowisku krytycznym M_2 . Szybsze przejazdy wózka powodowałyby z kolei jego puste przebiegi – co wynika z różnic w wydajności maszyn.

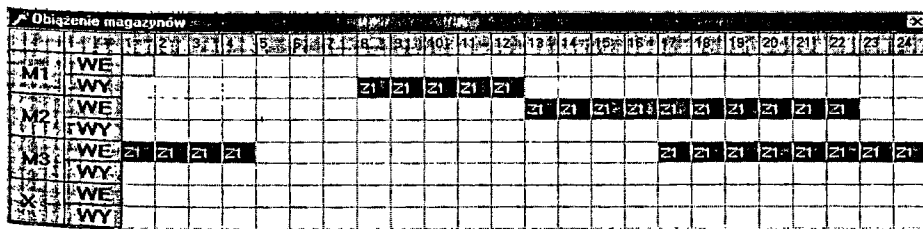
W przypadku systemu transportowego z dwoma wózkami samojezdnymi, cykle pracy wózków również limitowane są taktem wąskiego gardła przepływu przedmiotów. Wzajemna faza wózków wpływa na obciążenie magazynów składowania międzyoperacyjnego. Przesunięcie wózków w fazie pozwala na mniej równomierne (w czasie) obciążenie magazynów niż ma to miejsce w przypadku jej zmniejszenia np. do 2 u.j.c. Fakt ten uwidacznia się na poniższych diagramach (rys.5) i (rys. 6), gdzie przyjęcie fazy mniejszej niż pół okresu prowadzi do bardziej równomiernego wykorzystania magazynów. Obserwacja ta może być wykorzystana w praktyce, np. w sytuacjach, gdy magazyny międzyoperacyjne wydzielane będą z jednej puli magazynu centralnego.



Legenda:

M_1, M_2, M_3 – zasoby technologiczne; W_1, W_2 – wózki samojezdne; M_1-M_2 – trasy wózków; Z_1 – realizacja zlecenia.

Rys. 5. Diagram Gantt'a przepływu produkcji wyrobu A.
(Względna faza wózków wynosi 2 u.j.c.)



Legenda:

$M_1(WE, WY), M_2(WE, WY), M_3(WE, WY)$ – bufor zasobów technologicznych; X – magazyn wejścia – wyjścia; Z_1 – alokacja elementów w buforach przystanowiskowych.

Rys. 6. Diagram obciążeń buforów przystanowiskowych podczas produkcji wyrobu A.
(Względna faza wózków wynosi 2 u.j.c.)

Porównując oba przypadki łatwo również zauważyć, że zwiększenie liczby wózków (przyjmując ten sam okres przejazdu) zmniejsza wielkość fazy przebiegu przejściowego oraz zmniejsza wymagania związane z wymaganymi szybkościami przejazdu wózków.

Dodatkowych badań wymagają przypadki związane z uwzględnieniem związków pomiędzy dysponowanymi pojemnościami wózków samojezdnych a pojemnościami magazynów składowania międzyoperacyjnego. Wyznaczanie tych związków prowadzi do złożonego problemu kombinatorycznego – w ogólnym przypadku, różne wózki mogą dysponować różnymi pojemnościami i magazyny składowania międzyoperacyjnego mogą dysponować różnymi pojemnościami, problemem jest wyznaczenie wielkości partii transportowych (zakładając ich istnienie) zapewniających planowany przepływ materiałów. Dodatkowe trudności pojawiają się oczywiście przy rozważaniu przypadków jednoczesnej produkcji wieloasortymentowej, a w szczególności planowania dostępu do nie wykorzystywanych mocy produkcyjnych. Wyniki prac prowadzonych w tym zakresie dostępne są m.in. w [2], [3], [4]. Przedstawiona dyskusja podkreśla związki występujące pomiędzy efektywnością (przepustowością) systemu transportu między stanowiskowego a możliwością realizacji planowanego przepływu materiałowego.

W rozpatrywanym przypadku pominięto bardzo istotną charakterystykę przepływów, jaką jest ich okresowość oraz przebiegi przejściowe związane odpowiednio z fazami rozruchu oraz okresem spływu produkcji. Reasumując, dotychczasowe rozważania można stwierdzić, iż obok rozpatrywanych ograniczeń przepływu jednoczesnej wieloasortymentowej produkcji, związanych z alokacją pojemności magazynów przystanowiskowych, należy zaliczyć również efektywność dostępnego systemu transportu między stanowiskowego.

5. ZAKOŃCZENIE

W pracy przedstawiono koncepcję metodyki szybkiej weryfikacji planowanych do realizacji zleceń produkcyjnych oraz jej komputerową implementację: system planowania przepływu produkcji SPPP. Wykorzystując pakiet zwrócono uwagę na wpływ wzajemnej fazy przesunięcia cyklicznie kursujących wózków samojezdnych na sposób obciążenia magazynów składowania międzyoperacyjnego.

LITERATURA

- [1] Banaszak Z., Saniuk S., Honczarenko J.: *Integrated production planning and shop floor control: logistics approach*. - Proc. of the 10th International DAAAM Symposium, 21-23 October, 1999, Vienna, Austria, pp. 29-30.
- [2] Mądry M., Stańczyk J., Banaszak Z., *Computer aided prototyping of workflow control*. In: *Innovative and integrated manufacturing* Scientific papers of the Institute of Production Engineering and Automation of the Wrocław University of Technology No.76, Conferences 35, 2000, pp.176-184.
- [3] Saniuk S., Krenczyk D., Banaszak Z., *Weryfikacja zleceń produkcyjnych w systemach wieloasortymentowej produkcji rytmicznej*. Zeszyty Naukowe PŚI, Seria Automatyka, z.129, nr 1474, 2000, pp.321-330.
- [4] Skołud B., *Planowanie wieloasortymentowej produkcji rytmicznej*. Zeszyty Naukowe PŚI. Mechanika, z.136, Gliwice 2000.
- [5] <http://www.iiz.pz.zgora.pl/ppt/iiz/app.html>.