

Tomasz ŻUK

## ZAGADNIENIA PROCESU PLANOWANIA PRODUKCJI

**Streszczenie:** Poniższy artykuł stanowi część pracy magisterskiej [17] poświęconej modelowaniu elastycznych systemów produkcyjnych. Zasygnalizowano w nim wybrane zagadnienia związane z tematyką harmonogramowania produkcji. Opisano krótko zagadnienia kolejkowe i decyzyjne, znaczenie symulacji i sposoby jej realizacji oraz wpływ parametrów symulacji na wynik końcowy. Przedstawiono znaczenie awaryjności i sposoby jej uwzględniania w symulacji oraz zagadnienia związane z systemem transportowym.

### 1. WPROWADZENIE

Wymagania współczesnego rynku powodują, że coraz więcej produktów wytwarzanych jest z wykorzystaniem elastycznych środków produkcji.

W przemyśle światowym coraz częściej spotyka się nie tylko ich mniejsze formy - elastyczne gniazda obróbkowe, ale i bardziej rozbudowane elastyczne linie produkcyjne i elastyczne systemy produkcyjne ESP.

Kilkunastoletnie doświadczenie związane z eksploatacją elastycznych środków produkcji. Wskazuje na fakt, że efektywność i opłacalność ich stosowania w przemyśle rosną wraz z ich doskonaleniem elastyczności kompleksowej obróbki i prostoty eksploatacji. Wykorzystanie ESP, a szczególnie systemów złożonych z większej liczby stanowisk roboczych napotyka na istotne ograniczenia. Dotyczą one dwóch zagadnień:

- nakłady finansowe na większe ESP wiążą się z dużym ryzykiem,
- w przypadku większych ESP występują trudności eksploatacyjne obniżające efektywność całego systemu; przygotowanie danych sterujących dla ESP jako całości; staje się zagadnieniem złożonym, wymagającym uwzględnienia bardzo wielu możliwych stanów urządzeń systemu oraz zachodzących między nimi powiązań.

Rozwiązaniem związanym z pierwszym z powyższych ograniczeń może być tworzenie ESP mających charakter otwarty bądź systemów składających się z grup, w znacznej mierze niezależnych od siebie. ESP mający charakter otwarty mógłby być dostosowany - pod względem swojej konfiguracji - do aktualnych potrzeb w sposób łatwy, tani i stosunkowo szybki, co znacząco zmniejszałoby ryzyko nakładów finansowych ponoszonych na dostosowanie ESP do aktualnych wymagań produkcyjnych.

Drugie z powyższych ograniczeń - trudności związane ze złożonością procesu przygotowania produkcji, w tym zaprogramowanie ESP - może zostać zniesione w wyniku postępu w zakresie automatyzacji i komputeryzacji procesów przygotowania produkcji oraz udoskonalenia samego systemu sterowania ESP [3] i [4].

W związku z tym wydaje się w pełni uzasadnione stosowanie wspomnianych komputerowo metod modelowania i symulacji systemów, mające na celu testowanie poprawności przygotowanych danych sterujących przed ich wykorzystaniem w ESP, gdyż wykorzystanie danych zawierających błędy zazwyczaj pociąga za sobą straty wynikające z przestojów, braków, a nawet unieruchomienia całego systemu.

## 2. MODELOWANIE I SYMULOWANIE ELASTYCZNYCH SYSTEMÓW WYTWARZANIA

Elastyczne systemy produkcyjne są obiektami o wielkim stopniu złożoności. Zaprojektowanie nawet najprostszego systemu oraz stworzenie niezawodnego algorytmu jego funkcjonowania niesie za sobą - jak już wspomniałem - bardzo dużo problemów. Z uwagi na liczne parametry, które wywierają złożony wpływ na przebieg procesu, dobór tych wielkości na podstawie samych obliczeń jest trudny, a zamodelowanie pracy ESP na modelu fizycznym jest bardzo kosztowne i długotrwałe. Sytuacja ta stwarza konieczność rozwoju różnych systemów symulacji komputerowej, jako efektywnych narzędzi pomocy przy budowie ESP i uruchamianiu w nim produkcji [1].

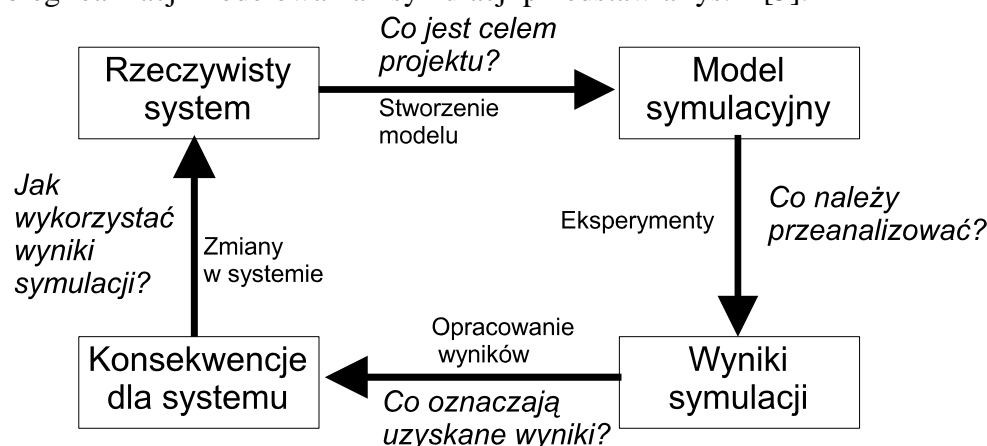
Modelowaniem symulacyjnym [2] nazywamy czynności wyróżniania i formalizacji cech systemu oraz ustalania relacji zachodzących między nimi w czasie, w celu znalezienia odpowiedników w innych systemach. Produktem końcowym ciągu tych czynności jest model symulacyjny stanowiący spójny opis istotnych cech materii odwzorowywanego systemu oraz algorytmów ich zmienności w czasie.

Mogą być również metody statyczne (pomijają udział czasu) i dynamiczne.

Symulacja [2] ma na celu osiągnięcie umownego podobieństwa w wybranym zachowaniu się pierwowzoru z jego analogiem, a nie podobieństwa ich rzeczywistej materii. Dlatego też stan elementu modelu nie musi pokrywać się pod względem treści z określonym stanem elementu systemu. Podobnie w modelu symulacyjnym mogą występować zdarzenia, które nie mają odpowiedników w systemie oryginalnym.

Symulacja jest więc techniką służącą do dokonywania eksperymentów na pewnych rodzajach modeli [1]. Rozumiana bywa jako forma manipulacji modelem zmierzająca do poznania zachowania się systemu. Komputer nie jest niezbędnym narzędziem do prowadzenia eksperymentu symulacyjnego, najczęściej jednak przyspiesza ten proces.

Metody symulacyjne polegają na budowie eksperymentalnego modelu danego systemu na bazie szczególnego rodzaju modeli matematycznych, które za pomocą komputera pozwalają badać warianty zachowań tego systemu długookresowo i w założonych warunkach [5]. Przebieg realizacji modelowania i symulacji przedstawia rys. 1 [5].



**Rys. 1. Przebieg modelowania i symulacji**

Metodą symulacji systemów produkcyjnych można:

- określić efektywność zamierzonych inwestycji,
- poprawnie określić potrzebne zasoby,
- zmniejszyć koszty związane z nieefektywnym wykorzystaniem zasobów produkcyjnych,
- porównać różne rozwiązania produkcyjne.

Zastosowanie metody modelowania i symulacji daje nam możliwość zaprojektowania optymalnego systemu pracy pod względem kosztów i czasów realizacji zadań. Metoda ta ułatwia podejmowanie decyzji, umożliwia badanie wpływu niewielkich zmian na wynik realizacji działań oraz umożliwia lepsze poznanie systemu i dalsze jego doskonalenie. Przykłady modeli procesów produkcyjnych przedstawia tablica 1. Tablica 2 przedstawia przykłady pakietów symulacyjnych [5].

Tablica 1. Przykłady modeli procesów produkcyjnych.

Poziom zarządzania przedsiębiorstwem	Model	Horyzont czasowy
Poziom strategiczny	Prognozowanie i planowanie zamówień, prognozowanie wyniku finansowego, koncepcja projektu systemu produkcyjnego	Długookresowy
Poziom taktyczny	Planowanie zamówień i zasobów, wstępne planowanie produkcji koncepcja projektu i specyfikacja urządzeń produkcyjnych	Średniookresowy
Poziom operacyjny	Planowanie zleceń produkcyjnych, studium różnych strategii wytwarzania	Krótko i średniookresowy

### 3. ZAGADNIENIA KOLEJKOWE I DECYZYJNE

W początkach rozwoju cyfrowej symulacji zdarzeń dyskretnych okazało się, iż wiele z rozpatrywanych systemów ma cechy systemów obsługi masowej [1]. W systemach tych pojawia się zgłoszenie wraz z zapotrzebowaniem na obsługę. System masowej obsługi reaguje w ten sposób, że o ile jest to możliwe, zaspokaja tę potrzebę; jeśli natomiast nie może tego zrobić, przetrzymuje zgłoszenie do odpowiedniej chwili. Przed stanowiskiem roboczym tworzą się więc kolejki. Kolejki tworzą różne zadania, które w danej chwili reprezentowane są przez jedną określoną operację, która ma być wykonana na danym stanowisku.

Tablica 2. Przykłady wybranych pakietów symulacyjnych.

PAKIET	FIRMA	PAKIET	FIRMA
SIMFACTORY	CACI Products Company	Automation Master	HEI Co., USA
ARENA	Systems Modeling Corporation	Ithink	High Performance Systems, USA
AUTOMOD	AutoSimulations, USA	FACTOR/AM	Pritsker Co., USA
SIMPLE++	AESOP, D	ProModel	PROMODEL, USA
CFS	CFS Manufacturing Systems, USA	PICS	S-S Technologies, USA
MAST	CMS Resarch, USA	GRAFSIM	Siemens AG, Nurnberg, D
Quest	Denob Roboticts, USA	SIMPLEX II	Breilmann+Partner Gmbh, D
Rapid Designer	Emultek, USA	PACE	Grossenbacher AG St. Gallen, CH
Taylor II	F&H Logistics NL	PLATO-SIM	IWB TU Munchen, D

Wskaźnik priorytetu - numeryczna cecha każdej operacji oczekującej w kolejce. Reguła priorytetu - funkcja, która operacji oczekującej w kolejce na wykonanie przyporządkowuje wielkość zwaną wskaźnikiem priorytetu i wybiera operację z maksymalną lub minimalną wartością tego wskaźnika, określając tym samym, że operacja ta ma być wykonana w pierwszej kolejności. Zdefiniowano wiele reguł priorytetów, takich jak: FIFO, LIFO, NAJKOP, LOS i wiele innych.

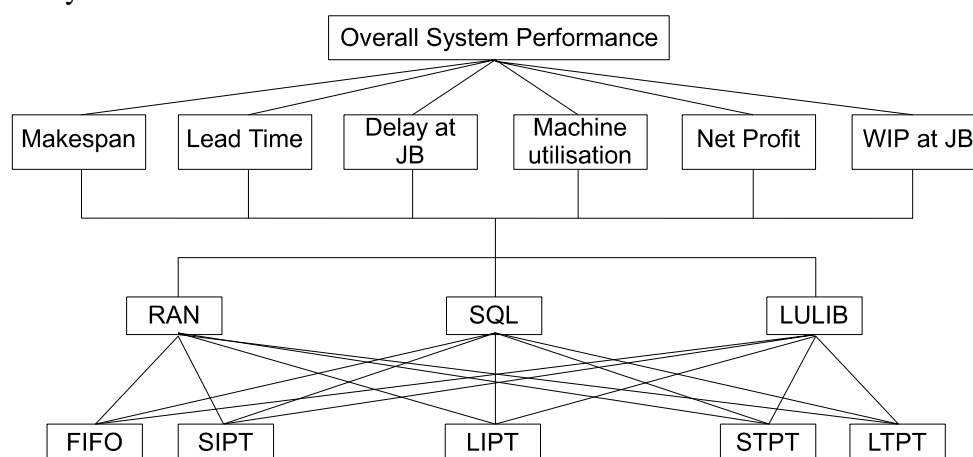
Problemem doboru reguł harmonogramowania zajmują się autorzy artykułu [14]. Omawiają w nim problem doboru najlepszej kombinacji reguły wyboru maszyny i reguły priorytetu kolejki do danego elementu przy użyciu metody AHP (Analytic Hierarchy Process). Tablica 3 przedstawia reguły harmonogramowania używane w modelach symulacyjnych ESW, zaproponowane i poddane badaniu przez autorów artykułu. W wyniku symulacji uzyskujemy odpowiedź na pytanie jaka kombinacja zapewni najlepsze średnie wykorzystanie maszyny, a jaka najwyższy zysk. W zależności od tego, co chcemy uzyskać możemy zastosować różne kombinacje.

Tablica 3. Reguły planowania używane w modelach ESW.

Stanowisko robocze	Wybór maszyny (elementu)
FIFO	RAN
SIPT	SQL
LIPT	LULIB
STPT	
LTPT	

FIFO: First In First Out; SIPT: Shortest Imminent Processing Time; LIPT: Longest Imminent Processing Time; STPT: Shortest Total Processing Time; LTPT: Longest Total Processing Time; RAN: Random; SQL: Shortest Queue Length; LULIB: Lowest Utilization of Local Input Buffer

Wyniki badań wskazują jednoznacznie, że nie istnieje najlepsze i jedyne rozwiązanie projektowanego ESW a jedynie możemy mówić o optymalnym doborze reguł harmonogramowania ze względu na oczekiwany przez nas wynik. Strukturę metody AHP przedstawia rys.2.



Rys. 2. Hierarchiczna struktura metody AHP

#### 4. PLANOWANIE PRODUKCJI

Istotą procesu sterowania przepływem produkcji jest planowanie, ewidencja, kontrola i korekta przepływu przedmiotów (materiałów i wyrobów) przez komórki przepływu (komórki produkcyjne, składy, magazyny) w ilości i w czasie. Sterowanie przepływem produkcji dotyczy elementów różnorodnych, o różnym stopniu skomplikowania jest więc zagadnieniem trudnym i dotychczas nierozwiązanym [6].

Wśród organizacyjnych kierunków optymalizacji sterowania produkcją wyróżnia się między innymi następujące cele:

- minimalizację cykli produkcyjnych,
- minimalizację wielkości robót w toku,
- maksymalizację wykorzystania zdolności produkcyjnych.

Autorzy artykułu [6] podjęli temat sterowania produkcją według cyklu produkcyjnego i badano konflikt celów w sterowaniu produkcją. Problem polegał na tym, aby w warunkach produkcji seryjnej o złożonym programie produkcyjnym, w zależności od kryteriów związanych z otoczeniem przedsiębiorstwa, takich jak: terminowość produkcji, pewność wykonania, elastyczność przedsiębiorstwa, ustalić operatywne parametry organizacji i sterowania procesem produkcyjnym w czasie i uwzględniając wewnętrzne sprzeczności optymalizować:

- szybkość przepływu materiału,
- wykorzystanie środków trwałych,
- wykorzystanie środków obrotowych.

Na przedstawiony problem mają wpływ zmienne decyzyjne:

- okres powtarzalności,
- wielkość serii produkcyjnej,
- symultaniczność realizacji,
- kolejność wykonywania zamówień w danym portfolio zleceń.

*Skrócenie powtarzalności* powoduje bezpośrednio zmniejszenie obciążenia stanowisk (zwłaszcza duże czasy t<sub>pr</sub>) oraz pośrednio: wzrost zapasów zabezpieczających magazynowych przed komórką o dłuższym cyklu i wzrost szybkości przepływu materiału.

*Zmniejszenie serii produkcyjnej* powoduje bezpośrednio: skrócenie cyklu produkcyjnego i powiększenie szybkości przepływu materiału, zmniejszenie obciążenia stanowisk (szczególnie przy dużych t<sub>pr</sub>) oraz pośrednio: zmniejszenie obciążenia stanowisk, (przy zmniejszonym lub stałym stanie zapasów), powiększenie obciążenia stanowisk - do pewnego optimum.

*Symultaniczność realizacji* sprowadza się w tym przypadku do podziału serii produkcyjnych na *partie transportowe*, których zmniejszenie wywołuje bezpośrednio: zwiększenie szybkości przepływu materiału oraz skrócenie cyklu produkcyjnego, zmniejszenie zapasów transportowych (mniejszymi pakietami przekazuje się produkcję między stanowiskami), oraz pośrednio: zmniejszenie partii transportowej (nawet do p=1) które z kolei zmniejsza jej wpływ kompensujący różnice zmian wydajności pracy poszczególnych stanowisk co może wpłynąć na zmniejszenie wydajności.

*Kolejność wykonywania zamówień w danym portfolio zleceń* powoduje bezpośrednio skrócenie cyklu produkcyjnego całego wyrobu, co skutkuje zwiększeniem szybkości przepływu materiału, a pośrednio wpływa na: dociążenie maszyn (do pewnego optimum), zmniejszenie zapasów (do pewnego optimum).

Wykorzystując program HP (Harmonogramowanie Produkcji) sprawdzono poprawność postawionych hipotez. Niektóre z nich znalazły już potwierdzenie w wyniku badań (zmniejszenie partii transportowej) [6].

## 5. WĄSKIE GARDŁA

Każdy z systemów produkcyjnych posiada pewne zasoby będące wąskimi gardłami, które limitują jego możliwości wytwórcze [7].

Mogą do nich należeć: nieefektywny pracownik, maszyna o małej pojemności itd. Często projektanci systemów starają się ich unikać, jednakże wykazano, że takie działanie jest bezcelowe, ponieważ usunięcie jednego wąskiego gardła powoduje natychmiastowe ujawnienie się kolejnego. Odmienne podejście do tego problemu polegające na maksymalizowaniu liczby zasobów krytycznych (takich, które są ciągle zajęte) w systemie zaproponował Goldratt w teorii ograniczeń, na której bazuje technika produkcji optymalnej,

mająca na celu między innymi wyznaczenie harmonogramu, w których czasy przestoju na zasobach niekrytycznych są minimalne. Chodzi o to aby tak harmonogramować zasoby niekrytyczne, żeby przed zasobami krytycznymi nie tworzyły się kolejki, jednakże nie należy unikać zasobów krytycznych.

Efektywność systemu jest określana przez współczynnik efektywności wykorzystania zasobów w czasie trwania jednego cyklu. Innym współczynnikiem charakteryzującym system, w którym realizuje się zlecenia produkcyjne jest współczynnik efektywności realizacji zlecenia.

Nie jest możliwe wyznaczenie zależności pomiędzy tymi współczynnikami, gdyż wartość pierwszego rośnie ze wzrostem liczby zasobów krytycznych, natomiast drugi zależy od przyjętego lub narzuconego przez klienta terminu zakończenia realizacji zadania.

## 6. DOBÓR CZASU SYMULACJI

Autorzy artykułu [8] postawili sobie za cel podanie metody takiej elastycznej struktury obróbki grupowej, która będzie dopuszczać zmiany przyjęte w określonym zakresie zmian parametrów wejściowych bez konieczności ponownego projektowania struktury komórki. Projekt dopuszczał następujące zmiany: wielkości produkcji, asortymentu produkcji, marszrut.

Z przeprowadzonych obserwacji parametrów wstępnych wynika, że czas symulacji powinien być dobierany w zależności od czasu życia wyrobów jako jego wielokrotność.

## 7. SYSTEM TRANSPORTOWY

Problemem optymalnej ilości wózków AGV i ich ekspedycji zajęli się autorzy artykułu [11]. Jak unikać kolizji, który wózek wybrać do wykonania zadania - najbliższy czy może najdalszy, a może o najdłuższym czasie niewykorzystania, itd. - artykuł przedstawia metodę poradzenia sobie z tymi problemami.

Dla uniknięcia kolizji na ścieżkach i znalezienia najkrótszej ścieżki (marszruty) do pozostałych połączeń z siecią (systemem transportowym) używamy algorytmu Dijkstra. Wraz z powyższym algorytmem stosujemy metodę "time-window" zaproponowaną przez Huang'a. Koncepcje okienka pomiarowego stosujemy dla przewidzenia pozycji każdego wózka AGV znajdującego się w systemie. W pierwszym kroku, zależnie od aktualnej pozycji i pozycji przeznaczenia, najkrótsza marszruta jest generowana z wykorzystaniem algorytmu Dijkstra. Opierając się na tej wygenerowanej ścieżce generowane jest okienko pomiarowe o czasie jednostkowym a wózkowi nadawany jest atrybut charakteryzujący jego położenie (czujnik położenia). Podobnie dzieje się ze wszystkimi pozostałymi wózkami. Jeżeli wózek stoi (załadunek, rozładunek, oczekiwania) lub zmierza do miejsca postoju w czasie okienka pomiarowego, zakłada się, że pozostaje w tej samej pozycji. Bazując na tych założeniach, po uzyskaniu listy wszystkich okienek pomiarowych są one porównywane i jeśli zostanie znaleziony konflikt, zostanie on zapamiętany w bazie danych. Jeśli taka baza nie jest pusta to poszczególne skojarzone ze sobą atrybuty są usuwane z algorytmu i ścieżka jest przeliczana od nowa. Proces ten jest tak długo powtarzany aż zostanie znaleziona wykonalna ścieżka.

## 8. NIEZAWODNOŚĆ SYSTEMU

System wytwarzania składa się z zespołu obrabiarek wykonujących różne operacje oraz systemu manipulacji materiałowej (MHS=SMM). Podstawowym problemem konstrukcji wytwarzania jest wykonanie próby eksploatacyjnej. Model przedstawiany w literaturze nie uwzględnia jednoczesnego wykorzystania różnych składników hardwerowych systemów wytwarzania. Kiedy obrabiarka, lub każdy inny składnik hardwerowy systemu ulega awarii. System rekonfiguruje się w celu osiągnięcia przyjętych założeń. Pojęcie niedoskonałości, nazywane także niepełnym obszarem pokrycia, jest definiowane jako prawdopodobieństwo „C”, że system poprawnie rekonfiguruje dany składnik w którym nastąpiła awaria. Awaria składnika zostaje usunięta, lecz pomimo kompletnej naprawy składnika, nie jest on tak dobry jak nowy. Innymi słowy - każda naprawa przywraca część składową do działania w systemie, ale nie będzie ona tak dobra jak nowa. Należy zademonstrować zderzenie niedoskonałości z gotowością do działania systemu wytwarzania, a także własności jego konstrukcji. Jeżeli niedoskonałość tworzy nawet bardzo mały procent z całego prawdopodobieństwa uszkodzenia systemu, wtedy dyspozycyjność może być w znaczny sposób zredukowana. Konstruktorzy systemu wytwarzania zazwyczaj ignorują tak mały procent wad, co może mieć duży wpływ na wykonanie analizy alternatywnych planów systemów. Niedociągnięciem w modelach kolejkowych jest nierozpatrywanie awarii i naprawy poszczególnych składników systemu.

Narahari i Viswanadham omawiają w swojej publikacji [9] scenariusz wytwarzania polegający na tym, że do analizy systemu są brane pod uwagę stany przejściowe. W praktyce oznacza to, że cała konstrukcja systemu zawiera stany awarii, stany niedoskonałej naprawy i niedoskonałego obszaru pokrycia oraz wpływ obciążenia pracą tętniącą systemu, co wykazuje, że model kolejkowy jest niewystarczający. W skrócie systemy wytwarzania są przedstawiane jako osiągnięcie przez system stanów równowagi. Niezawodność w systemach ma podwójne znaczenie:

- System dyspozycyjny - dostępny
- Zależność pomiędzy wykonaniem modelu, a wykonaniem indywidualnego fizycznego modelu złożonego z podsystemów i składników.

Dyspozycyjność układu jest to wykonanie pewnej operacji w danym czasie T. Dyspozycyjność systemu jest obliczana z całego prawdopodobieństwa wykonania operacji. Należy zwrócić szczególną uwagę przy modelowaniu na stan gotowości obrabiarki do działania.

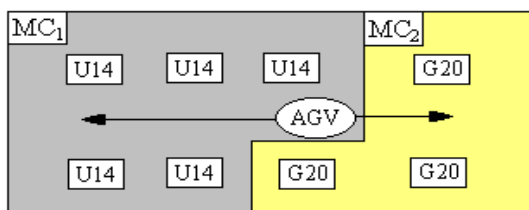
Do analizy procesów i napraw systemu oraz określenia niedoskonałych relacji używa się modelu Markova. Jakikolwiek przedstawiciel (obrabiarka) określa wzrost liczby możliwych do wystąpienia stanów, natomiast model Markova dąży do zmniejszenia liczby rozpatrywanych problemów. Są systemy zawierające wysoką liczbę składników ulegających procesowi awarii i naprawy oraz posiadających niedoskonały obszar pokrycia. Dla takiego przypadku model Markova możliwych stanów systemu jest wręcz niemożliwy do zrealizowania. Po pierwsze - system jest rozkładany na dwa podsystemy, to jest podsystem obrabiarek i podsystem manipulacji materiałem. Po drugie - podsystem obrabiarek jest rozkładany na poszczególne komórki. Łańcuch Markova konstruuje i rozwiązuje każdą i-tą komórkę ze zdecydowanym prawdopodobieństwem w najmniejszym  $K_i$  eksploatowanej obrabiarence w czasie T, gdzie  $K_i$  spełnia wymaganą wielkość produkcji dla i-tej komórki.

Przedstawiając niezawodność modelu wytwarzania należy przyjąć następujące założenia procesów awarii i naprawy dla obrabiarek i systemu manipulacji materiałem:

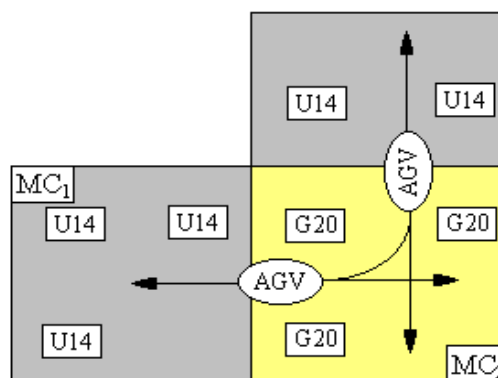
- wszystkie systemy i składniki są statystycznie niezależnie,
- obrabiarki i systemy manipulacji materiałem posiadają identyczny wskaźnik awaryjności  $\lambda_m \lambda_{mhs}$ ,
- pojedyncze naprawy dla każdej części składowej podsystemu mają wykładniczy rozkład czasu. Wskaźniki naprawy  $\mu_m, \mu_{mhs}$ ,
- naprawa każdego składnika dla jakiegokolwiek systemu jest możliwa do realizacji,
- aktywny czas trwania awarii / naprawy jest duży w porównaniu z czasem obróbki i przenoszenia części.

Dla przykładu rozważmy produkt ( czop zawiasowy) wytwarzany w dwóch krokach. Dwa typy maszyn Uniwersalny Milerator U14 są wykorzystywane do pierwszej operacji i MAZAK Gudgeon Gouger G20 do drugiej operacji. Mamy do dyspozycji 5 maszyn U14 oraz 3 maszyny G20 , a także trzy systemy transportowe AGV. Możemy rozpatrywać trzy alternatywne układy modeli (rys.3). Tablica 4 ilustruje stan awaryjności systemu .

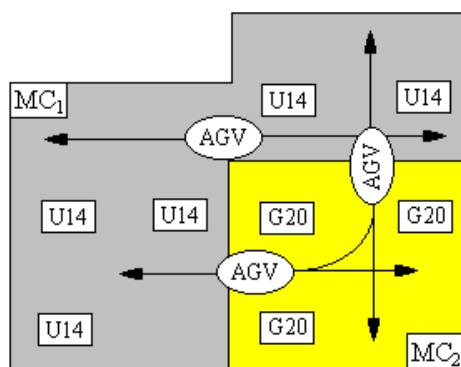
System został podzielony na dwie komórki obrabiarek (rys.4). Wymaganie dla drugiej komórki, aby obrabiarki G20 były jak najmniej eksploatowane. W tym celu trzy z obrabiarek U14 muszą być dopasowane do drugiej komórki .



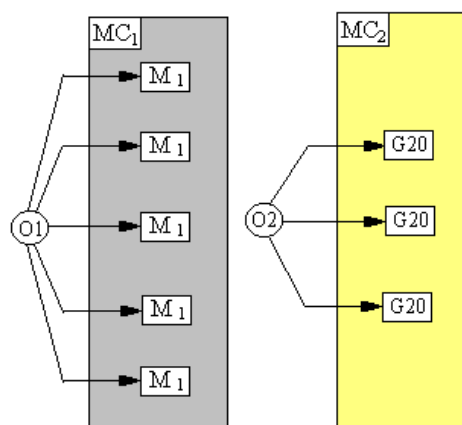
Rys. 3a. Przykładowy system wytwarzania - jeden system AGV



Rys. 3b Przykładowy system wytwarzania - dwa systemy AGV



Rys. 3c. Przykładowy system wytwarzania - trzy systemy AGV



Rys. 4. Struktura komórek maszyn

Tablica 4. Stan awaryjności systemu.

	C	$\mu$	$\lambda$	r	$K_i$	$N_i$
U14	0,8	1,0	0,03	0,8	3	5
G20	0,8	0,5	0,025	0,8	2	3
AGV	0,8	0,20	0,01	0,8	1	1,2,3



Można zaobserwować że układy z dwoma AGV mają lepszą dyspozycyjność . Dyspozycyjność systemu z jednym AGV wynosi tylko 65% po 12 godz. pracy, natomiast dyspozycyjność systemu z dwoma AGV wynosi prawie 82%. Ponadto rezultat analizy wskazuje, że wprowadzenie trzeciego systemu AGV powoduje zmniejszenie dyspozycyjności. Można z tego to wysunąć wniosek, że dyspozycyjność zależna od niedoskonałej relacji i awarii jest większa niż wprowadzenie nadmiaru systemu AGV. Jednak można zauważyć, że, kiedy relacja systemu (2 AGV) jest doskonała  $c=1$  , to jego dyspozycyjność wzrasta o 5% . Dodatkowo , kiedy naprawa składników jest doskonała wzrasta o 10%. Oznacza to, że założenie doskonałej relacji i naprawy składników ma znaczący wpływ na wynik rzeczywistej wartości dyspozycyjności. Skuteczność analizy komórek wskazuje, że kiedy wymagana liczba operacji w komórce 1 wzrasta do 4, dyspozycyjność zmniejsza się o 3%. Podczas gdy tylko dwie maszyny typu G20 są sprawne, dyspozycyjność komórki spada o 20%. Dlatego wprowadzenie nadliczbowej ilości obrabiarek typu G20 wpływa w znaczącym stopniu na pogorszenie się dyspozycyjności. Jakikolwiek wzrost liczby podsystemów powoduje wzrost długości łańcucha Markova i macierzy przejść. W związku z tym włączanie dodatkowych podsystemów (składników) do analizy modelu działania może być rozpatrywane tylko w wypadku, gdy mają one zasadniczy wpływ na działanie systemu.

## 9. SIECI PETRIE'GO

Jest wiele innych metod modelowania i symulacji takich jak cała gama metod matematycznych i algorytmicznych, bardzo prędko rozwijające się metody modelowania i symulacji oparte na wirtualnej rzeczywistości [12, 13], metody modelowania biologicznych systemów wytwarzania [14], czy aparat sieci Petrie'go.

Proces modelowania przy pomocy sieci Petrie'go jest łatwo dostępny, a wpływ na to mają graficzna natura oraz zachowania współbieżnej i dynamicznej natury systemów produkcyjnych.

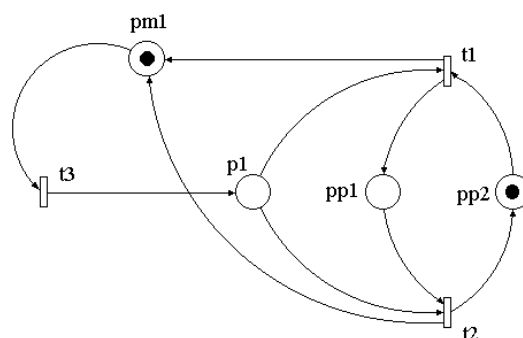
Rozpoczynając z konkretnymi wartościami produkcji przebiegającej w systemie i możliwych przepływów materiałów, proces modelowania jest konstruowany wyłączając pojemność buforową i unikając martwych punktów. Po uzyskaniu modelu przedstawiana jest metodologia ilości i jakości modelowanych systemów. Analiza metodologii przebiega dwupoziomowo.

W pierwszym rozpatruje się relacje analizy do wykresu osiągalności - pokrywalności nieprawidłowości modeli czasowych sieci Petrie'go, które są dopełnieniem analizy strukturalnej sieci bazującej na miejscach i niezmiennych relacjach przejść.

Rezultaty analizy jakości przedstawiane są systemowi wymaganych własności w celu poprawnego zaprojektowania systemu.

Po drugie - wykonanie analizy powoduje opóźnienie odpalenia z kolejnościami tranzycji sieci, które pozwala wyselekcjonować wykres osiągalności sieci, umożliwiając otrzymanie wykresu Ganta przedstawiającego zachowanie się dynamiczne, czasowe sieci.

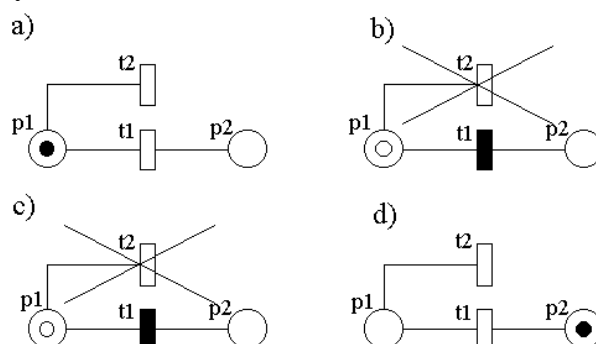
Często w sieciach Petrie'go występują konflikty, dlatego ważnym problemem jest rozstrzygnięcie ich.



**Rys.5. Struktura wolnego wyboru dla rozwiązywania konfliktów:  
pm1 sprawdza miejsca p1, pp1 i pp2, ich priorytety**

Rysunek powyższy przedstawia przykład, w którym zastosowano regułę wolnego wyboru. Zgodnie z rysunkiem miejsce p1 ma markowanie  $m(p1) = 1$  poprzez okresowe priorytety zdeterminowane w pp1 i pp2, więc tylko t1 jest przygotowana do odpalenia [15].

Odpalenie tranzycji przebiega trójfazowo, umożliwiając skuteczne odpalenie najbliższych tranzycji jeśli jest udostępniony zbiór prostych przykładów opóźnienia oraz znacznik jest przenoszony z miejsc początkowych. Jednakże znacznik nie jest składany na wejściu do tranzycji i wyjściu miejsc, dopóki nie minie opóźnienie tranzycji  $\Omega$  i licznik nie osiągnie wartości zerowej. Znaczniki są trzymane do całkowitego opóźnienia tranzycji. Już po odpaleniu tranzycji wcześniejsze przenoszone znaczniki są składowane do wyjścia miejsc tranzycji rozpatrywanych.



**Rys. 6. Gra znaczników dla proponowanych przebiegów czasowych modelu**

- Stan początkowy p1 zostaje zajęty t1 i t2 są w stanie konfliktu.
- Następny krok - algorytm rozwiązuje konflikt, możliwe jest przejście przez t1 podczas czasu jednostkowego  $\Omega$ ; p1 pozostaje niezmiennione
- Po czasie  $\Omega$  tranzycja t1 może zostać odpalona; p1 wciąż pozostaje niezmiennione.
- W następnym kroku t1 jest odpalona; miejsce p1 zostaje zwolnione; miejsce p2 zostaje zajęte.

Podobną tematykę konfliktów możemy spotkać w [16]. Istnieją jednakże pewne konsekwencje, które należy brać pod uwagę:

- stałe odpalanie sekwencji w czasowych sieciach Petrie'go nie reguluje sieci odkąd mogłyby być wstrzymane pewne kombinacje odpaleń sieci,
- stany czasowych sieci Petrie'go nie są już odpowiednie do oznaczania nie regulowanych sieci Petrie'go. Uzależnione przy szczegółowych modelach czasowych, stany muszą zawierać informację o tranzycjach właśnie odpalonych lub informację o możliwych odpalonych sekwencjach tranzycji,

- regulacja informacji może relacjonować polecenia odpalenia tranzycji pomimo, że logiczna organizacja odpalenia nie zmieniła się,
- początek dodawania regulacji znaczników nie zmienia logicznej struktury sieci Petrie'go kombinacje miejsc i przejść proponowanych modeli czasowych sieci Petrie'go są dokładnie takie same dla sieci dyskretnych.

## 10. PODSUMOWANIE

Powyższe informacje są bardzo pomocne przy modelowaniu systemów wytwórczych, gdyż znacznie ułatwiają rozwiązywanie problemów, pojawiających się podczas modelowania. Zaletą ich jest to, że nie trzeba samemu do wszystkiego dochodzić a można się podeprzeć doświadczeniem i wynikami badań innych, którzy z podobnymi problemami spotkali się już wcześniej. Można więc stosować przy budowie własnego modelu zasady, o których wspomniano powyżej, np. jeśli chodzi o ilość zastosowanych maszyn i systemów transportowych i ich wpływ na dyspozycyjność czy niezawodność systemu, czy też o sposobie doboru reguł harmonogramowania i ich wpływie na działanie systemu czy też o sposobie doboru czasu symulacji, wielkości i znaczenia wielkości partii produkcyjnej czy transportowej oraz wiele innych. Przy budowie własnego modelu można trzymać się reguł zawartych w tej analizie, jak również poddawać je weryfikacji.

Mierników oceny ESP jest bardzo wiele. Tak naprawdę tylko od nas zależy względem czego oceniać będziemy system wytwórczy. Najczęściej ESP ocenia się ze względu na wydajność, ilość jednocześnie wykonywanych w systemie rodzajów produktów, awaryjność systemu, wykorzystanie poszczególnych jego elementów, wielkości partii transportowych, średnie kolejki do poszczególnych elementów itd.

## 11. LITERATURA

- [1] ZDANOWICZ R.: Podstawy robotyki. Laboratorium z robotów przemysłowych. Skrypt Politechniki Śląskiej nr 2100, Gliwice 1998
- [2] KONDRATOWICZ L.: Modelowanie symulacyjne systemów. WNT, Warszawa 1978
- [3] HORCZYCZAK M.: Kierunki rozwoju elastycznych systemów produkcyjnych. *Ekonomika i organizacja przedsiębiorstwa*, 3/96, strony 7-9
- [4] MUHLEMANN P. ALAN, OAKLAND S. JOHN, LOCKYER G. KEITH: Zarządzanie - produkcja i usługi. PWN, Warszawa 1995
- [5] PLINTA D.: Modelowanie i symulacja przebiegu pracy w systemach produkcyjnych. Konferencja Komputerowo Zintegrowane Zarządzanie, Zakopane 12-14.01.1998
- [6] SŁONIEC J.: Badanie wpływu parametrów na optymalność harmonogramów produkcji. Konferencja Komputerowo Zintegrowane Zarządzanie, Zakopane 12-14.01.1998
- [7] SKOŁUD B.: Organizacja systemów wytwarzania zorientowanych na potrzeby rynku. Konferencja Komputerowo Zintegrowane Zarządzanie, Zakopane 12-14.01.1998
- [8] MAZUR Z., OBRZUD J., DUDEK M.: Symulacyjne projektowanie struktury komórki obróbki grupowej. Konferencja Komputerowo Zintegrowane Zarządzanie, Zakopane 12-14.01.1998
- [9] ZAKARIAN A., KUSIAK A.: Modeling Manufacturing Dependability. *IEEE Transactions on robotics and automation*, vol. 13 No. 2 April 1997. pp.161-168

- 
- [10] KAZEROONI A., FTS CHAN, ABHARY K.: A fuzzy intergrated decision-making support system for scheduling of FMS using simulation. *Computer Intergrated Manufacturing Systems*, vol. 10 No.1, 1997. pp. 27-34
- [11] SHAH M., LIN LI, NAGI R.: A production order-driven AGV control model with object-oriented implementation. *Computer Intergrated Manufacturing Systems*, vol. 10 No.1, 1997. pp. 35-48
- [12] Kazuaki Iwata, Masahiko Onosato, Koji Teramoto, Suguru Osaki: Virtual Manufacturing Systems as Advanced Informational Infrastructure for Intergrating Manufacturing Resources and Activities. *Annals of the CIRP Vol. 46/1/1997*, pp. 335-338
- [13] LEE K. I., NOH S.D.: Virtual Manufacturing System - a Test -Bed of Engineering Activities. *Annals of the CIRP Vol. 46/1/1997*, pp. 347-350
- [14] Ueda Kanji, Vaario Jari, Ohkura Kazuhiro: Modeling of Biological Manufacturing Systems for Dynamic Reconfiguration. *Annals of the CIRP Vol. 46/1/1997*, pp. 343-346
- [15] COLOMBO A.W., CARELLI R., KUCHEN B.: A temporised Petri Net Approach for design, modelling and analysis flexible production systems. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol. 13, p. 214-226, 1997
- [16] J. T Lin, Ch-Ch. Lee: A Petri net - based integrayted control and scheduling scheme for flexible manufacturing cells. *Computer Integrated Manufacturing Systems*, Vol. 10, p.109-122, 1997.
- [17] ŻUK T.: Badanie złożonego modelu ESP z wykorzystaniem systemu Taylor II for windows. Praca magisterska, Politechnika Śląska 1998

## PROBLEMS OF MANUFACTURE SCHEDULING

**Abstract:** This article is part of Master's thesis [17] on modelling flexible manufacturing systems. Selected problems of manufacture scheduling are pointed out. Queuing and decision making problems are described in short along with the significance of simulation and methods of its implementation and of the impact of simulation parameters on final results. The importance of failure frequency, methods of its incorporation in simulation and transport system issues are presented.

Recenzent: mgr inż. Marian HOLOTA