

Jerzy HONCZARENKO, Andrzej JARDZIOCH
Instytut Technologii Mechanicznej
Politechnika Szczecińska

MODELOWANIE I SYMULACJA ZROBOTYZOWANYCH SYSTEMÓW OBRÓBKOWYCH Z ZASTOSOWANIEM PROGRAMU SIMPLE++

Streszczenie: W referacie przedstawiono sposób budowy modeli zrobotyzowanych systemów obróbkowych z zastosowaniem zorientowanego obiektowo oprogramowania. Dobrym przykładem takiego systemu symulacyjnego jest program SIMPLE++. Zbudowany model oraz przeprowadzone badania symulacyjne pozwoliły porównać różne algorytmy sterowania. Określono istotne parametry eksploatacyjne, takie jak: wykorzystanie obrabiarek, liczbę koniecznych operacji transportowych oraz stan załadowania magazynów przystanowiskowych.

MODELLING AND SIMULATION OF ROBOTIZED MACHINING SYSTEMS WITH USE OF SIMPLE++ PROGRAM

Summary: In the article we presented a method of building robotized machining systems using an object-oriented programming system. The adequate example of program of this kind is "SIMPLE++". Own built model and simulation experiments allowed to compare different algorithms. Main working variables a capability of making use of a machine tool; a number of necessary transportations; a state of the engagement of by-stand storages are specified.

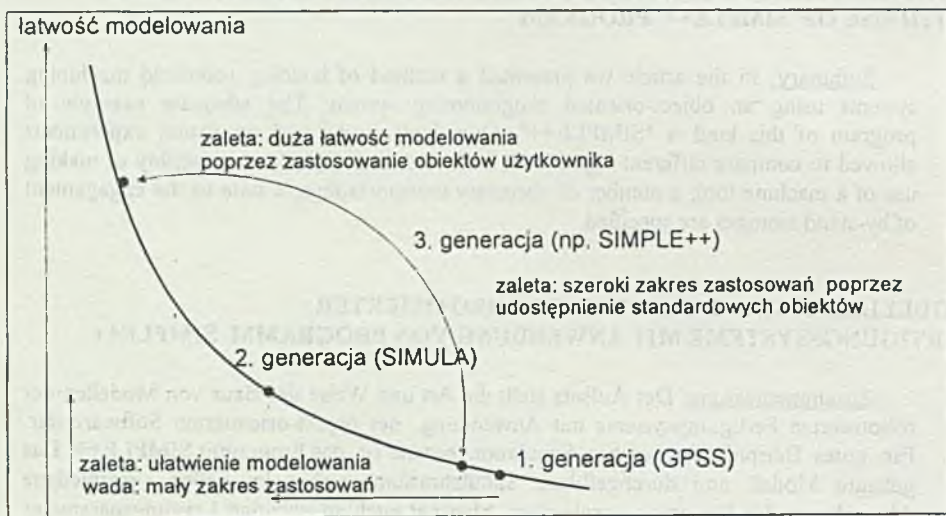
MODELLIERUNG UND SIMULATION ROBOTISIERTER FERTIGUNGSSYSTEME MIT ANWENDUNG VON PROGRAMM SIMPLE++

Zusammenfassung: Der Aufsatz stellt die Art und Weise des Baus von Modellen der robotisierten Fertigungssysteme mit Anwendung der objekt-orientierten Software dar. Ein gutes Beispiel für solches Simulationssystem ist das Programm SIMPLE++. Das gebaute Modell und durchgeführte Simulationsuntersuchungen ließen verschiedene Algorithmen der Steuerung vergleichen. Man hat auch so wichtige Leistungsparameter wie Fertigungsmaschinenbelastung, Zahl der notwendigen Transportoperationen und Zustand der Beladung von Maschinennahelagern bestimmt.

1. Wstęp

Z doświadczeń przodujących firm i instytutów naukowych wynika, że zastosowanie badań symulacyjnych podczas projektowania elastycznych systemów obróbkowych przynosi

wymierne efekty. Stosowanie tradycyjnych narzędzi symulacyjnych stanowi bowiem istotną pomoc przy optymalizowaniu nowych projektów lub ocenie projektowanych zmian w procesach obróbkowych, jednakże w praktyce użytkownik spotyka się z wieloma problemami. Model symulacyjny wykorzystany do badania funkcjonowania zrobotyzowanego systemu obróbkowego musi odwzorowywać działanie systemu nie tylko w stanie ustalonym, ale także w stanach przejściowych związanych z uruchamianiem produkcji, w stanach awarii urządzeń technologicznych czy w nagłych zmianach planu produkcji. Dynamika modelowanego systemu odwzorowywana jest jako kombinacja przebiegających równolegle i wzajemnie na siebie wpływających procesów [1]. Dla poprawnego, stosunkowo łatwego i szybkiego budowania modeli systemów obróbkowych duże znaczenie ma sposób opisu realizowanych procesów oraz właściwości oprogramowania komputerowego. Najlepsze rozwiązanie to takie, gdy użytkownik, który najlepiej zna projektowany system, może sam zbudować jego model, określić wymagane parametry i przeprowadzić badania symulacyjne. Wymóg ten są w stanie najlepiej wypełnić zorientowane obiektowo systemy symulacyjne - rys.1.



Rys.1. Zależność między zakresem zastosowań i łatwością implementacji modeli dla różnych systemów symulacyjnych [6]

Fig. 1. Relationship between range of application and easiness of model implementation for different Simulation Systems [6]

Pozwalają one zachować zaletę języków symulacyjnych - szeroki zakres zastosowań, przewyższając jednocześnie niedogodności związane z dużą pracochłonnością budowanych modeli. Projektowanie modelu polega w takim przypadku na łączeniu wstępnie zdefiniowanych

obiektów, wyposażeniu ich w unikalne atrybuty i sterowanie oraz określeniu parametrów, które mają być nadzorowane w trakcie przyszłych badań. Poprzez stworzenie małych, zamkniętych obiektów zwiększona jest pewność projektowania i łatwość w szukaniu ewentualnych błędów.

2. Zorientowane obiektowo modelowanie zrobotyzowanych systemów obróbkowych

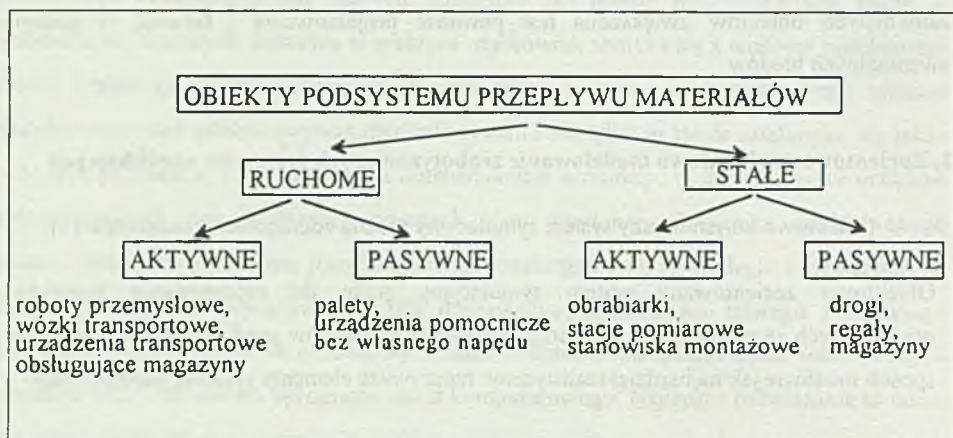
Obiektowo zorientowany system symulacyjny można zdefiniować następująco [2]:

Obiektowo zorientowany system symulacyjny służy do modelowania procesów obróbkowych za pomocą wstępnie przygotowanych elementów językowych opisujących w sposób możliwie jak najbardziej realistyczny rzeczywiste elementy systemu obróbkowego.

Zastosowanie specyficznych (zależnych od zastosowań), wstępnie zdefiniowanych obiektów (maszyn, robotów przemysłowych, przenośników, stołów obrotowych, magazynów) przyczynia się do poprawy przejrzystości i ułatwia modelowanie w porównaniu z metodami, w których użytkownik posługuje się tylko elementarnymi, abstrakcyjnymi instrukcjami. Wstępnie zamodelowane obiekty zawierają możliwe do zdefiniowania parametry określające ich stan (np. długość, czas obróbki, maksymalna pojemność itp.), zwane atrybutami, oraz wewnętrzne sterowanie. Sterowanie dzieli się na sterowanie podstawowe oraz sterowanie użytkownika. Sterowanie podstawowe definiuje zasadnicze zachowanie się obiektów przypisane niejako naturze danego urządzenia. Sterowanie użytkownika pozwala definiować specyficzne zachowania się poszczególnych obiektów w momencie tworzenia modelu (np. jeżeli obrabiarka M3 skończy pierwszą pracę, a robot czeka przy magazynie wyjściowym, to ma wykonać przejazd do M3). Obiekty posiadające zdefiniowane sterowanie mogą zostać opisane jako elementy aktywne, nie posiadające natomiast sterowań (tylko atrybuty), jako elementy pasywne.

Zorientowany obiektowo sposób budowy modeli zrobotyzowanych systemów wytwarzania realizowany jest w programie SIMPLE++ będącym produktem firmy AESOP GmbH ze Stuttgartu. Program ten udostępnia projektantowi szereg wstępnie zdefiniowanych obiektów. Najprostszym obiektem jest pojedyncze miejsce. Posiada ono pojemność równą jeden i może być aktywne lub pasywne. Aktywne miejsce ma możliwość przyjmowania przedmiotów i po określonym czasie obróbki, oddawania przedmiotów. Pasywne miejsce nie ma możliwości samoczynnego oddania przedmiotu. Przedmiot przebywa w nim do czasu, aż

nie zostanie pobrany poprzez inny aktywny element systemu. Podział elementów językowych modelujących podsystem przepływu materiałów przedstawia rys. 2.



Rys. 2. Elementy językowe odwzorowujące obiekty podsystemu przepływu materiałów

Fig. 2. Language components which represent objects of row-flow sub-system

Pojedyncze miejsca można wzajemnie łączyć szeregowo lub równolegle. Połączone szeregowo pozwalają na przyjęcie więcej niż jednego przedmiotu i transportowanie ich w jednym kierunku (stosowane do modelowania np. przenośnika taśmowego z wymuszonym kierunkiem ruchu realizującym zasadę FIFO [1]). Połączenie równoległe pojedynczych miejsc opisuje obiekt, który ma możliwość przyjęcia większej liczby przedmiotów bez zachowania ich kolejności (np. magazyn, obrabiarka). Nie obowiązuje tu reguła FIFO. Przedmioty mogą w zależności od parametru określającego czas ich przebywania w poszczególnych miejscach wzajemnie się omijać (obrabiarka wielowrzecionowa, magazyn).

Możliwość sterowania przepływem materiałów w projektowanym modelu dają projektantowi elementy podsystemu informatycznego. Pozwalają one na zmianę atrybutów obiektów oraz ich wzajemnych powiązań. Wszystkie reguły składające się na system sterowania mogą być zapisane w postaci jednego dużego zbioru sterującego (tak to wygląda w większości dostępnych systemów). Nie jest to jednak najlepsze rozwiązanie, ponieważ liczba różnych zależności występująca w takim połączonym zbiorze czyni go nieprzejrzystym, a dokonanie jakichkolwiek zmian jest trudne i wymaga analizy całego zbioru. Dużo lepsze rezultaty daje podział reguł sterowania na oddzielne bloki odpowiedzialne za działanie poszczególnych obiektów.

Każdy aktywny obiekt podsystemu przepływu materiałów ma możliwość wywołania sterowania w momencie jego załadowania lub rozładowania. Sterowania przypisane wejściu i wyjściu danego obiektu można nazwać sterowaniami lokalnymi, ponieważ są one wywoływane poprzez lokalny przepływ przedmiotów. W przypadkach gdy realizowane jest kompleksowe sterowanie wieloma elementami systemu lub podejmowanie decyzji ma nastąpić na podstawie analizy stanu parametrów wielu obiektów, celowe jest zastosowanie sterowania globalnego.

3. Badania symulacyjne zrobotyzowanych systemów obróbkowych

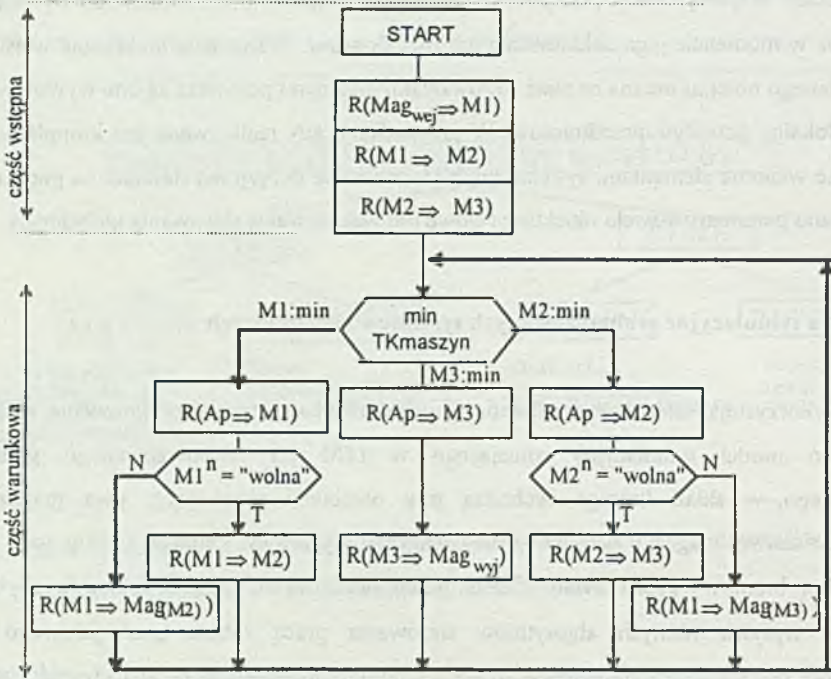
Wykorzystując stawiane do dyspozycji użytkownika wstępnie zdefiniowane obiekty zbudowano model symulacyjny istniejącego w ITM PS zrobotyzowanego gniazda obróbkowego, w skład którego wchodzi trzy obrabiarki skrawające, dwa magazyny przystanowiskowe, magazyn wejściowy oraz magazyn wyjściowy. Gniazdo obsługiwane jest przez robot bramowy typu AM80. Celem przeprowadzonych badań symulacyjnych było określenie wpływu różnych algorytmów sterowania pracą robota przemysłowego na efektywność pracy gniazda. Jako podstawowe kryterium porównawcze przyjęto współczynnik wykorzystania obrabiarek, dodatkowo oceniano liczbę koniecznych ruchów transportowych robota przemysłowego, całkowity czas pracy maszyn oraz czas oczekiwania gotowego przedmiotu na robota. Badano następujące algorytmy sterowania nadzorujące przepływ przedmiotów przez zrobotyzowany system:

Algorytm A1wOPT - algorytm pracy robota przemysłowego ze sterowaniem uzależniającym przebieg procesów transportowych od aktualnych warunków panujących w gnieździe (rys 3).

Algorytm A1wB - realizujący obsługę bezpośrednią obrabiarek. Warunki sterowania, a tym samym sposób obsługi obrabiarek są tak ustalone, aby przepływ przedmiotów odbywał się bezpośrednio między kolejnymi obrabiarkami.

Algorytm A1wP - realizujący obsługę pośrednią obrabiarek. Warunki sterowania są tak dobrane, aby przepływ przedmiotów odbywał się poprzez wszystkie magazyny pośrednie.

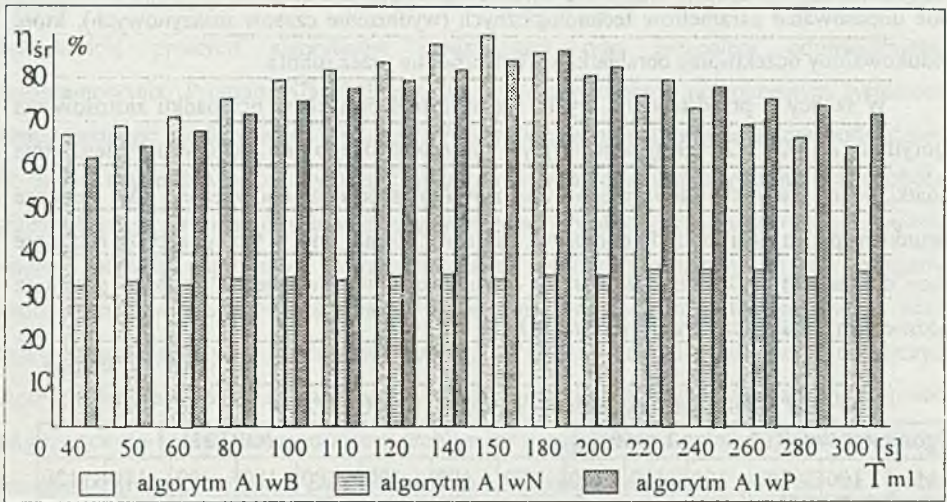
Algorytm A1wN - realizujący przepływ bezpośredni przy jednoczesnym wymuszonym oczekiwaniu robota przy obrabiarce do czasu zakończenia na niej pracy. Taki sposób pracy jest najbardziej oszczędny jeśli chodzi o liczbę koniecznych operacji transportowych. Celem było zbadanie wielkości strat wynikających z niewykorzystanego czasu pracy obrabiarek.



Rys.3. Algorytm pracy robota przemysłowego uzależniający przebieg procesów transportowych od aktualnych warunków panujących w gnieździe

Fig. 3. Duties algorithm of industrial robot where transportation control depends from actual conditions in work-cell

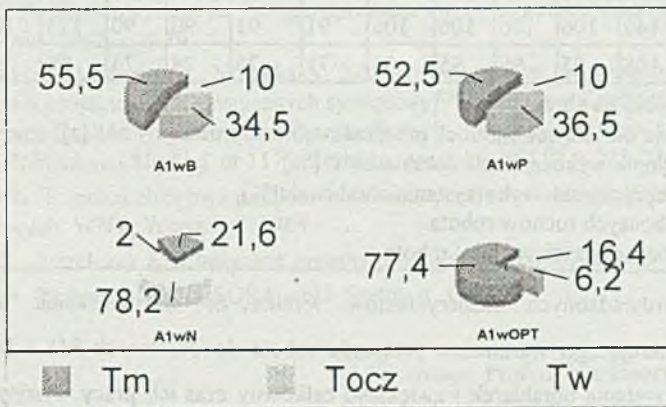
Rysunek 4 przedstawia zmiany średniego współczynnika wykorzystania obrabiarek (η_{sr}) w zależności od czasu trwania operacji obróbkowej na maszynie M1 dla algorytmów A1wB, A1wN i A1wP. Widoczne jest, że algorytm realizujący przepływ bezpośredni zapewnia najlepsze efekty dla operacji technologicznych realizowanych na M1, których czas trwania wynosi od 40 do 150 [s]. Dla dłuższych czasów obróbki efektywniejszy staje się algorytm realizujący przepływ pośredni (algorytm A1wP). W celu poprawienia efektywności pracy gniazda konieczne jest więc dopasowanie algorytmu pracy robota przemysłowego do aktualnie produkowanego asortymentu charakteryzującego się różnymi czasami obróbki na poszczególnych obrabiarkach.



Rys. 4. Wartość średniego współczynnika wykorzystania obrabiarek η_{sr} w zależności od czasu maszynowego T_{ml} na obrabiarce M1

Fig. 4. Value of mean duty factor η_{sr} of machine-tool in relation to the time of machining M1

Na rysunku 5 przedstawiono wpływ algorytmów sterowania pracą robota na udziały składników czasowych pracy obrabiarki. Algorytm A1wOPT pozwala na znaczną redukcję



Rys. 5. Wpływ algorytmów sterowania na udziały składników czasowych pracy obrabiarki (Tm - czas maszynowy, Tocz - czas przestoju obrabiarki związany z oczekiwaniem na rozładowanie, Tw - czas przestoju obrabiarki czekającej na załadowanie)

Fig. 5. Effect of the control algorithms on the part of time components of machine-tool

czasu, w którym obrabiarka musiała czekać na robota w celu załadowania lub rozładowania (Tocz + Tw). W tym przypadku możliwe jest zwiększenie efektywności wytwarzania poprzez

takie dopasowanie parametrów technologicznych (wydłużenie czasów maszynowych), które zredukowałoby oczekiwanie obrabiarki na rozładowanie przez robota.

W tabelicy 1 przedstawiono wyniki badań symulacyjnych w przypadku zastosowania algorytmu A1wOPT/2 testującego wpływ wprowadzonego do algorytmu sterowania dodatkowego warunku decyzyjnego. Zastosowano specjalne opóźnienie Δt sterujące warunkiem przejazdu robota do obrabiarek M1 i M2. Działa ono w ten sposób, że robot nie jedzie do maszyny M2, mimo iż skończy ona najwcześniej pracę, jeżeli niedługo potem (z opóźnieniem Δt) skończy pracę maszyna M1.

Tabela 1

Wyniki badań symulacyjnych dla algorytmu A1wOPT/2

Algorytm	T=3600[s]										(OPT31)		
A4wOPT2	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	90	110	120
T M1	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	90	110	120
T M2	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
T M3	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
Δt	0	10	20	30	40	50	60	70	100	150	20	20	20
η M1	77	80	80	80	80	80	83	83	83	83	80	84	84
η M2	78	80	80	80	80	80	65	65	62	62	68	78	79
η M3	74	76	77	77	77	77	62	62	60	60	64	74	76
η_{sr}	76	79	79	79	79	79	70	70	68	68	71	79	80
NRr	140	140	106	106	106	106	91	91	90	90	113	102	100
NRp	108	108	95	95	95	95	75	75	74	74	96	92	93

T Mi - czas obróbki na obrabiarce "i" [s]

Δt - opóźnienie określające warunek przejazdu robota do maszyny M1 [s]

η Mi - współczynnik wykorzystania obrabiarki "i" [%]

η_{sr} - średni współczynnik wykorzystania obrabiarek [%]

NRr - liczba roboczych ruchów robota

NRp - liczba pomocniczych ruchów robota

Z przeprowadzonych eksperymentów wynika, że wprowadzenie niewielkiego opóźnienia Δt sterującego warunkiem przejazdu robota do obrabiarek M1 i M2 pozwala poprawić wykorzystanie obrabiarek i zwiększyć całkowity czas ich pracy. Pozytywne efekty może dać również dopasowanie czasów obróbki na poszczególnych obrabiarkach (druga część tab. 1).

4. Zakończenie

Metody komputerowego modelowania i symulacji pozwalają na jakościową i ilościową ocenę projektów konfiguracji urządzeń, harmonogramów produkcji oraz algorytmów

sterowania. Wykorzystanie tych możliwości podczas projektowania uwarunkowane jest jednak dostępnością prostych algorytmów modelowania oraz istnieniem odpowiedniego oprogramowania. Program SIMPLE++ spełnia wymogi stawiane nowoczesnym systemom wspomagającym modelowanie i symulację. Przeprowadzone badania symulacyjne podsystemu przepływu materiałów pozwoliły ocenić wpływ zmian w algorytmach sterowania pracą robota przemysłowego na parametry eksploatacyjne systemu obróbkowego. Stwierdzono znaczny wpływ różnych algorytmów sterowania pracą robota przemysłowego na osiągnięty współczynnik wykorzystania obrabiarek, liczbę koniecznych operacji transportowych oraz rozkład poszczególnych składników czasowych. Badania symulacyjne mogą dostarczyć istotnych danych do korekcji parametrów technologicznych. Aktualnie prowadzone są prace zmierzające do kompleksowego ujęcia problemów związanych z konfiguracją, planowaniem produkcji oraz symulacją. Dopiero realizacja takiego podejścia pozwoli na pełne wykorzystanie możliwości podsystemów transportowych w zrobotyzowanych systemach obróbkowych.

LITERATURA

- [1] Banaszak Z., Muszyński W.: Systemy elastycznej automatyzacji dyskretnych procesów produkcyjnych. Wydawnictwo Politechniki Wrocławskiej. Wrocław 1991, s.111.
- [2] Becker B.: Simulationssystem für Fertigungsprozesse mit Stuckgutcharakter. Springer-Verlag, Berlin 1992, s. 8-36.
- [3] Honczarenko J., Jarczoch A., Kosecka A.: Zintegrowany pakiet programów do wspomaganie projektowania elastycznych systemów. VIII Krajowa Konferencja Automatyzacji Dyskretnych Procesów Przemysłowych. Gliwice, Kozubnik 1992. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, nr 1176. Seria Automatyka, nr 110, s.225-234.
- [4] Kowalowski H. (praca zbiorowa pod kier.): Automatykacja dyskretnych procesów przemysłowych. WNT, Warszawa 1984.
- [5] Santarek K., Strzelczak S.: Elastyczne systemy produkcyjne. WNT, Warszawa 1989.
- [6] SIMPLE++. Referenzbuch AESOP GmbH. Stuttgart 1991.

Recenzent: Prof. dr inż. Henryk Kowalowski

Wpłynęło do Redakcji do 30.04 1994 r.

Abstract

The basic condition of correct, easy and fast designing of the models of simulated machining systems is to acquire a productive software. The best software for this kind of expectations are object-oriented programming systems such as "SIMPLE++" program by

AESOP. Using defined objects: machine, store, transporter; we modelled robotized work centre. The purpose of our study was to establish the influence of different control algorithms on effectiveness of the work-centre operation. Fig. 3 shows changes of duty factor of machine-tools with respect to the time of machining. In the time interval from 40 to 150 seconds the best results are achieved with A1wB algorithm which impels a direct flow of workpieces. For longer machining times the algorithm which forces an indirect flow is more effective. There fore it is necessary to suit control algorithm of industrial robot to actually produced workpieces. Fig. 4 shows influence of the control algorithms on the part of time components of machine-tools. The algorithm which interlocks transportation processes with actual conditions of the system (A1wOPT) allows to reduce waiting times of the machine-tools. We found out, that it is possible to increase efficacy of duty of robotized systems by making such corrections of production technology factors, which would allow to reduce waiting periods of machine-tool to be unloaded. Table 1 shows the result of an experimental simulation, which tests influence of the algorithm with additional decisive condition. Our procedures enables to measure the influence of the t parameter on the duty factor of the machine tool, a sum of the working times of machines and a number of necessary transportations. At present, we conduct the research which takes into consideration all multiple problems associated with a configuration, planning for production and simulation.