

Prof. dr hab. inż. Jerzy Honczarenko
Mgr inż. Mariusz Sosnowski
Politechnika Szczecińska
Zakład Zautomatyzowanych Systemów Wytwarzania

O MOŻLIWOŚCI WYKORZYSTANIA LOGIKI ROZMYTEJ DO STEROWANIA ELASTYCZNYM SYSTEMEM WYTWARZANIA

W referacie podjęto próbę sterowania badawczym elastycznym systemem wytwarzania z wykorzystaniem logiki rozmytej. Omówiono konfigurację systemu oraz budowę podsystemu sterowania z wykorzystaniem baz reguł rozmytych. Przedstawiono wykorzystanie logiki rozmytej do sterowania elastycznym systemem wytwarzania dwoma sposobami. Pierwszym sposobem było podjęcie próby sterowania systemem on-line za pomocą istniejących baz reguł i wnioskowania rozmytego. W drugim przypadku do sterowania wykorzystano harmonogram wygenerowany w programie eM-Plant.

ABOUT POSSIBILITY OF USE CONTROL FUZZY LOGIC IN THE FLEXIBLE MANUFACTURING RESEARCH SYSTEM

In the paper tested of use control fuzzy logic an investigated flexible manufacturing research system. The set-up of the system and the structure of its control have been elaborated on of use the rule base fuzzy. The presents use of fuzzy logic in control flexible manufacturing research system two ways. The first prepare was tested of use control on-line with the help of the rule base fuzzy and fuzzy inference. In second case in control use schedule generated in programme eM-Plant.

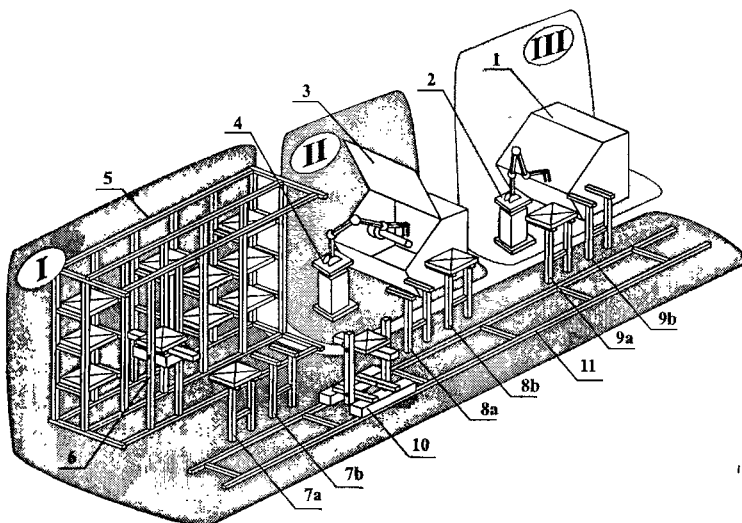
1. WPROWADZENIE

W ramach projektu KBN w Zakładzie Zautomatyzowanych Systemów Wytwarzania na Wydziale Mechanicznym Politechniki Szczecińskiej zaprojektowano i zbudowano badawczy system elastycznego wytwarzania [4]. System ten od strony organizacji i sterowania ma cechy rzeczywistego systemu, lecz w postaci zminiaturyzowanej. Celem budowy systemu jest umożliwienie prowadzenia doświadczalnej weryfikacji komputerowych symulacji nowych metod planowania, harmonogramowania i sterowania produkcją.

W referacie przedstawiono wykorzystanie logiki rozmytej do sterowania elastycznym systemem wytwarzania dwoma sposobami. Pierwszy to podjęcie próby sterowania systemem on-line za pomocą istniejących baz reguł i wnioskowania rozmytego. W drugim przypadku do sterowania wykorzystano harmonogram wygenerowany w programie eM-Plant.

2. BUDOWA ORAZ ZASADA DZIAŁANIA ESW

Miniaturowy elastyczny system wytwarzania składa się z 3 podsystemów: podsystem magazynowo – transportowy (I), podsystem technologiczny tokarski (II) i frezarski (III) co przedstawiono na rys. 1.

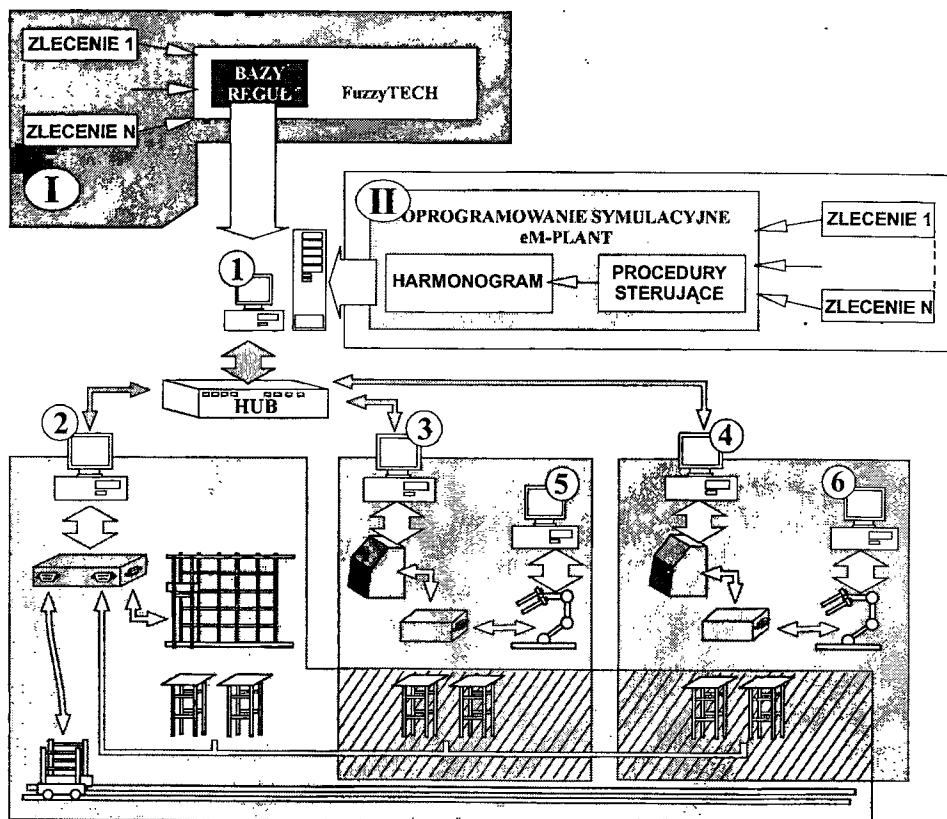


Rys. 1. Konfiguracja badawczego elastycznego systemu wytwarzania: 1) tokarka, 2) robot tokarki, 3) frezarka, 4) robot frezarki, 5) magazyn regałowy, 6) układarka, 7a) stanowisko wejściowe mag_wej, 7b) stanowisko wyjściowe mag_wyj, 8a) stanowisko odkładcze tokarki mag_11, 8b) stanowisko odkładcze mag_12, 9a) stanowisko odkładcze frezarki mag_21, 9b) stanowisko odkładcze mag_22, 10) wózek transportowy, 11) tor jezdny [1, 4]

Wózek transportowy oraz układarka regałowa transportują palety pomiędzy stanowiskami odkładczymi i magazynem regałowym. Układarka pobiera bądź odkłada paletę na określone miejsce w magazynie regałowym. Przedmioty przeznaczone do obróbki znajdują się na paletach transportowych umieszczanych ręcznie przez operatora w magazynie regałowym. Palety są oznaczone kodem kreskowym. Operator po włożeniu palety do magazynu, wprowadza do komputera nadrzędnego informację o marszrutce technologicznej i miejscu (półce), gdzie paleta została położona w magazynie [3]. W zależności od marszrutki technologicznej wózek transportuje paletę na zadane stanowisko odkładcze.

W skład podsystemu sterowania ESW wchodzi 6 komputerów, z których 4 połączone są za pośrednictwem koncentratora HUB, co przedstawia rys. 2. Komputery (2, 3, 4) odpowiedzialne są za sterowanie poszczególnych podsystemów. Komputer podsystemu magazynowo – transportowego (2) steruje pracą układarki regałowej i wózka transportowego. Komputery (3,4) sterują pracą podsystemów technologicznych oraz pełnią rolę nadrzędną w stosunku do komputerów (5,6) sterujących pracą robotów. Zadaniem komputera (1) jako jednostki centralnej jest: sterowanie globalne systemem

oraz nadzorowanie pracy podsystemów. W komputerze (1) zainstalowany jest główny program sterujący, który pozwala na pracę systemu w dwóch przypadkach. Pierwszy sposób sterowania (I) wykorzystuje wnioskowanie rozmyte na podstawie baz reguł rozmytych natomiast drugi sposób (II) wykorzystuje gotowy harmonogram wygenerowany w programie eM-Plant.

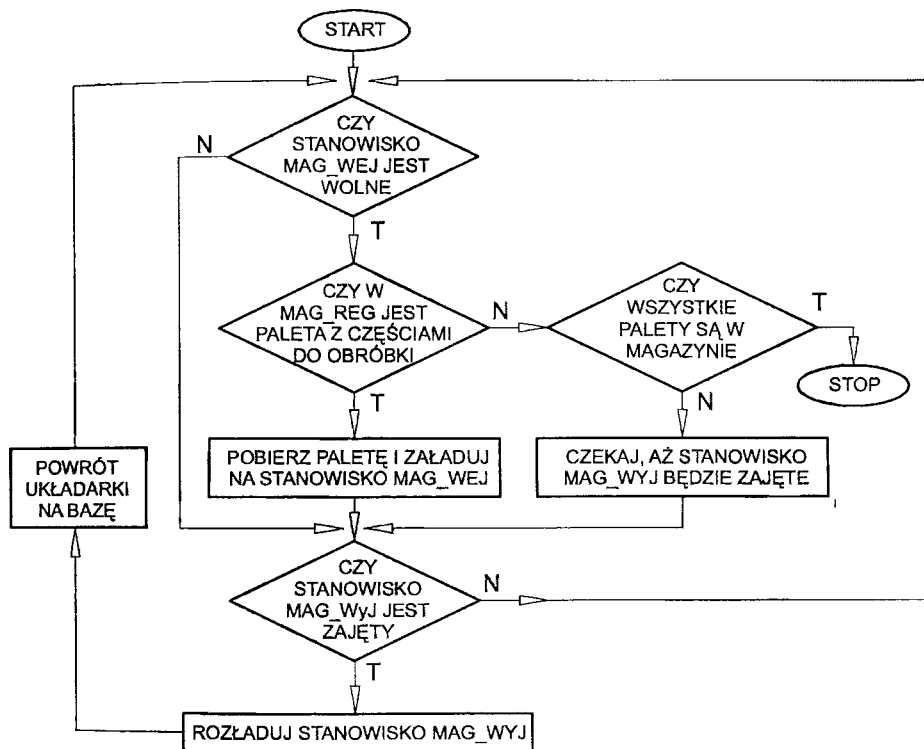


Rys. 2. Struktura sterowania ESW

Dla pracy systemu z wykorzystaniem logiki rozmytej, w głównym programie sterującym zapisana jest baza reguł rozmytych. Program jest w pełni zautomatyzowany. Na podstawie zebranych informacji z mikroprzełączników znajdujących się w systemie oraz na podstawie zdefiniowanych czasów trwania poszczególnych przemieszczeń układarki i/lub wózka, program uruchamia odpowiednie procedury sterujące.

Praca układarki polega na pobieraniu palet z magazynu regałowego i załadunku ich na wolne stanowisko odkładcze mag_wej (po sygnale zwolnienia stanowiska mag_wej, co ma miejsce dla kolejnych, pobieranych palet) oraz na rozładunku stanowiska mag_wyj i odkładaniu palet na wolne miejsce do magazynu (zaraz po załadunku stanowiska mag_wyj paletą z przedmiotami po obróbce). Taki sposób sterowania układarką sprawia, że stanowisko odkładcze mag_wej jest praktycznie zawsze

załadowane paletą z częściami przeznaczonymi do obróbki, natomiast stanowisko mag_wyj jest praktycznie zawsze wolne i gotowe na przyjęcie palety z przedmiotami po obróbce. Schemat algorytmu pracy układarki regałowej przedstawiono na rys. 3.



Rys. 3. Algorytm sterujący pracą układarki regałowej

Wybór najlepszej palety z magazynu regałowego z zastosowaniem metod logiki rozmytej, zapisano w głównym programie sterującym podsystemem.

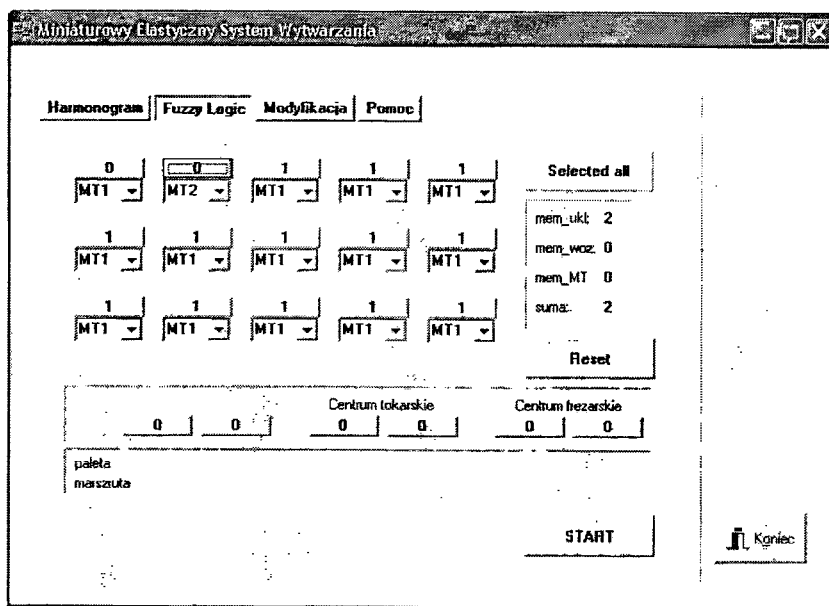
Program ustala, czy z magazynu regałowego powinna zostać pobrana paleta z częściami przeznaczonymi do obróbki na tokarkę, czy też na frezarkę dla aktualnej sytuacji w systemie.

Po załadowaniu przez układarkę palety na stanowisko mag_wej, zostaje ona pobrana przez wózek i zgodnie z zadaną marszrutą przetransportowana na wolne stanowisko mag11 lub mag21. Po załadowaniu pierwszego stanowiska jednej z maszyn, sprawdzana jest możliwość pobrania palety na drugą maszynę, aby ta jak najszybciej rozpoczęła pracę. Po załadowaniu palety na ostatnie, wolne stanowisko odkładacze, decyduje się o ruchu wózka do danego stanowiska. Jeśli obróbka wszystkich znajdujących się na nim części z palety została zakończona, paleta zostaje pobrana, a następnie przetransportowana na stanowisko mag_wyj.

3. GŁÓWNY PROGRAM STERUJĄCY Z WYKORZYSTANIEM WNIOSKOWANIA ROZMYTEGO

3.1. Idea sterowania z wykorzystaniem logiki rozmytej

Główny program sterujący został zainstalowany w komputerze nadrzędnym systemu. Wygląd okna programu przedstawiono na rysunku 4.



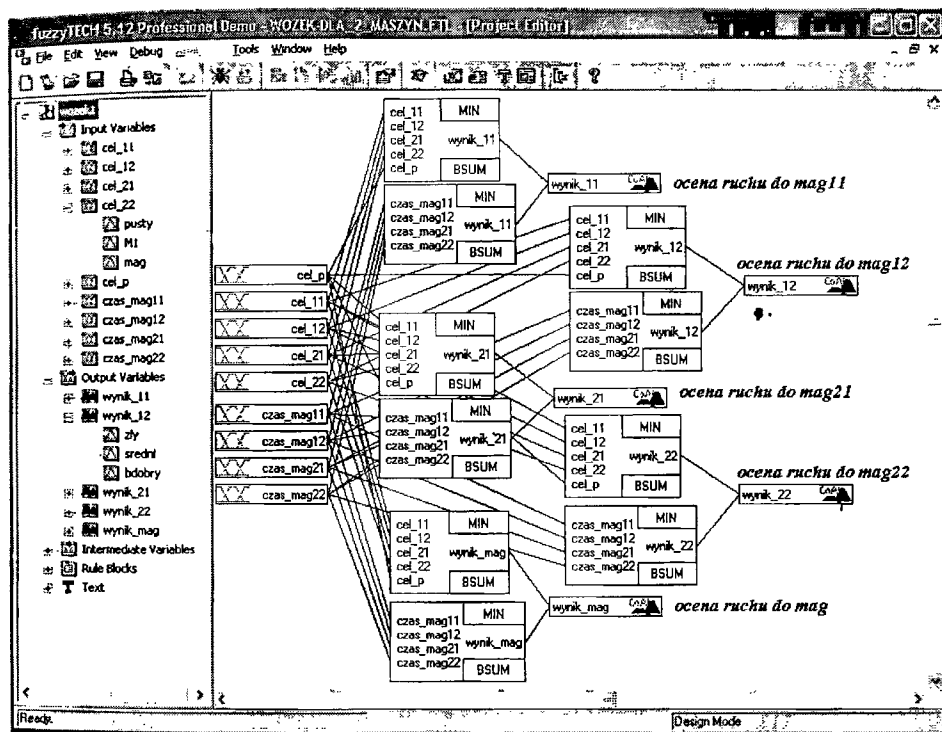
Rys. 4. Elementy głównego programu sterującego

Aplikacja programu została opracowana w języku Delphi 6.0. Program składa się z szeregu zakładek na których znajdują się odpowiednie elementy sterujące. Zakładka (Harmonogram) steruje ESW przy wykorzystaniu harmonogramu wygenerowanego z programu symulacyjnego eM-Plant. Zakładka obecnie otwarta (Fuzzy Logic), co przedstawiono na rys. 4, steruje systemem z wykorzystaniem metody logiki rozmytej. W programie umieszczone są przyciski z oknami dla poszczególnych palet. Po załadowaniu palet do magazynu wprowadza się do programu informację o przedmiotach przeznaczonych do obróbki (marszruta).

Praca układarki regałowej oraz wózka transportowego sterowana jest on-line z wykorzystaniem baz reguł rozmytych. Aktualny stan systemu na bieżąco jest uaktualniany za pomocą wszystkich mikroprzełączników znajdujących się na stanowiskach odkładczych oraz magazynu regałowego. Po zakończonym procesie technologicznym zostaje wyświetlona informacja o końcu cyklu produkcyjnego oraz następuje powrót układarki i wózka transportowego na pozycje bazową.

Główny program sterujący został oparty na bazach reguł rozmytych automatycznie wygenerowanych za pomocą programu FuzzyTECH 5.12.

Ideę sterowania oraz opracowane bazy reguł zaczerpnięto z pracy doktorskiej [2]. Przykładową realizację sterowania pracą wózkiem z zastosowaniem logiki rozmytej przedstawiono na rys. 5.



Rys. 5. Elementy głównego programu sterującego

Dla systemu utworzono dwie bazy reguł rozmytych: dotyczących układarki regałowej oraz wózka transportowego. Zgodnie z założoną ideą sterowania, bazy reguł rozmytych umieszczono w dwóch nieskończonych pętlach, wątkach programowych (Thread). W zależności od sytuacji w systemie, główny program sterujący na bieżąco analizuje i wybiera najlepszą regułę.

Decyzje sterujące dla wózka i/lub układarki podejmowane są w oparciu o wnioskowanie z użyciem logiki rozmytej. W tym celu do uzyskania odpowiedzi, co do kolejnego zadania transportowego lub wyboru palety wykorzystany zostaje program FuzzyTech.

3.2. Bazy reguł

Dla przemieszczeń układarki regałowej zapisano 3078 reguł natomiast dla przemieszczeń wózka utworzono 1296 reguł. Na rys. 6 przedstawiono fragment bazy reguł rozmytych dotyczących przemieszczeń wózka transportowego wygenerowanej w programie FuzzyTECH.

Spreadsheet Rule Editor - RB3							
	IF					THEN	
	cel_11	cel_12	cel_21	cel_22	cel_p	DoS	wynik_12
18	pusty	pusty	M1	mag	M2	1.00	zly
19	pusty	pusty	mag	pusty	pusty	1.00	zly
20	pusty	pusty	mag	pusty	M1	1.00	zly
21	pusty	pusty	mag	pusty	M2	1.00	zly
22	pusty	pusty	mag	M1	pusty	1.00	zly
23	pusty	pusty	mag	M1	M1	1.00	zly
24	pusty	pusty	mag	M1	M2	1.00	zly
25	pusty	pusty	mag	mag	pusty	1.00	zly
26	pusty	pusty	mag	mag	M1	1.00	zly
27	pusty	pusty	mag	mag	M2	1.00	zly
28	pusty	M2	pusty	pusty	pusty	1.00	dobry
29	pusty	M2	pusty	pusty	M1	0.10	zly
30	pusty	M2	pusty	pusty	M2	0.10	zly
31	pusty	M2	pusty	M1	pusty	0.10	średni
32	pusty	M2	pusty	M1	M1	0.10	zly
33	pusty	M2	pusty	M1	M2	0.10	zly

Rys.6. Baza reguł dotycząca przemieszczeń wózka z mag_12

Przedstawiony fragment bazy reguł opisujących zależności i sytuacje jakie mogą zajść w trakcie pracy wózka oraz ocenę wyboru palety, która może zostać pobrana w następnej kolejności ze stanowiska odkładczego mag_12. Poniżej zapisano sposób czytania bazy reguł (reguła nr 28).

Jeżeli stanowisko odkładcze mag_11 jest wolne ($cel_{11}=pusty$) i paleta na stanowisku odkładczym mag_12 jest gotowa do odebrania z marszrutą technologiczną M2 ($cel_{12}=M2$) i stanowisko odkładcze mag_21 jest wolne ($cel_{21}=pusty$) i stanowisko odkładcze mag_22 jest wolne ($cel_{22}=pusty$) i stanowisko odkładcze mag_wyj jest wolne ($cel_p=pusty$) \Rightarrow to wybór przemieszczenia palety z mag_12 do magazynu wyjściowego mag_wyj jest bardzo dobry w 100%.

Wszystkie reguły zapisane w dwóch bazach zostały przetransponowane na język programowy zrozumiały dla głównego programu sterującego, przykładowa reguła nr 28 ma postać:

```

„if (mag_11<>0) and (mag_12=0) and (mag_21<>0) and (mag_22<>0) and
(s11<>0) and (s12=0) and (s21<>0) and(s22<>0) then
begin
  if M1 then startw6;
  if M2 then startw5;
  if M3 then startw16;
  if M4 then startw15;
end;”

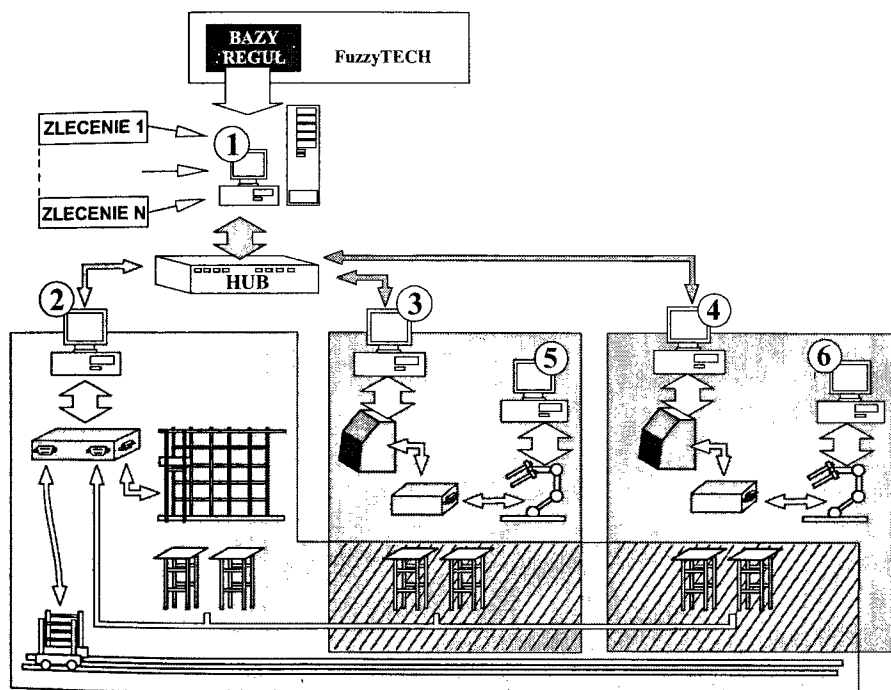
```

Argumenty stojące za wyrażeniem *if* oddzielone operatorem logicznym *and* są odczytywane jako stan mikroprzełączników znajdujących się na stanowiskach odkładczych oraz sygnałów sterujących pochodzących od podsystemu tokarskiego i frezarskiego. Argumenty ($mag_{12}=0$) i ($s12=0$) mówią kolejno o położeniu palety oraz wystąpieniu sygnału do odbioru palety ze stanowiska mag_12. Jeżeli warunek jest

spełniony to następuje uruchomienie podprogramu *startw6* (przemieszczenie palety ze stanowiska tokarskiego na magazyn wyjściowy).

4. BADANIA DOŚWIADCZALNE

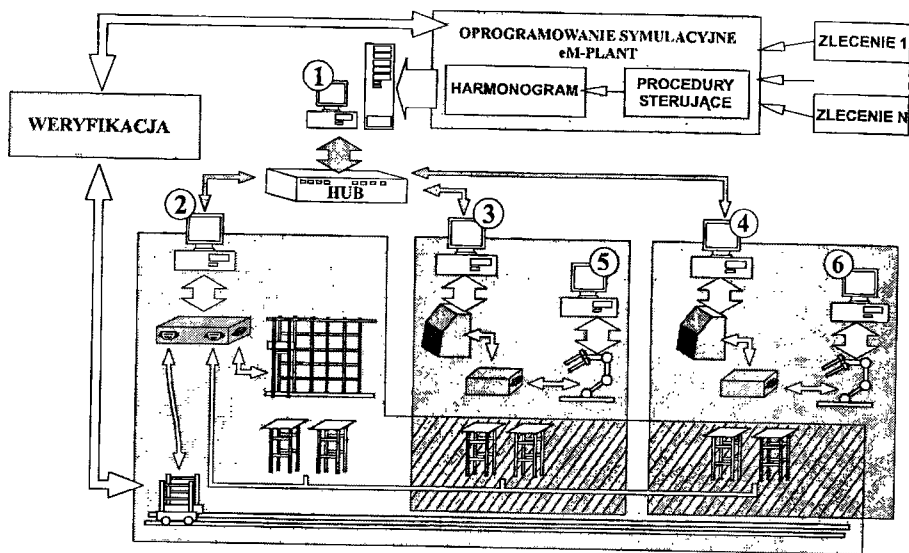
Badania doświadczalne przeprowadzono dla dwóch przypadków. W pierwszym przypadku sterowano pracą rzeczywistego systemu przy użyciu baz reguł rozmytych do sterowania on-line z wynikami programu eM-Plant, co przedstawiono na rys. 7.



Rys. 7. Idea sterowania systemem z wykorzystaniem logiki rozmytej

W drugim przypadku porównano harmonogram wygenerowany w programie symulacyjnym z pracą elastycznego systemu wytwarzania. Utworzono model systemu w oprogramowaniu symulacyjnym eM-Plant dla napływających zleceń produkcyjnych. W procesie symulacji generowany jest harmonogram działania systemu.

Tak wygenerowane procedury sterujące zostały przesłane do centralnego oprogramowania sterującego. Wyniki otrzymane na drodze symulacji komputerowych zostają następnie porównane z wynikami pracy rzeczywistego systemu, co przedstawiono na rys. 8.



Rys. 8. Idea sterowania na podstawie wygenerowanego harmonogramu

Założono realizację zlecenia na które składał się asortyment pięciu przedmiotów w partiach transportowych po jednej sztuce według przepływowej formy organizacji na jednym stanowisku technologicznym. Czasy zadań technologicznych na centrum tokarskim zestawiono w tablicy 1.

Tab. 1. Weryfikowane zlecenie

Z1/1	1	2	3	4	5
	Czas maszynowy [s]				
M1	115	95	69	34	85

Wyniki realizacji zlecenia przedstawia tabela 2. Różnica czasowa całego cyklu technologicznego dla sterowania metodą off-line wynosi 39 sekund, a dla metody on-line wynosi 47 sekund. Daje to 0,4% różnice błędu między badanymi metodami sterowania.

Tab. 2. Rezultaty weryfikacji modelu symulacyjnego

Etapy doświadczeń	Liczba palet	Marszruta technologiczna	Czas realizacji wszystkich zadań [g:min:s]
Sterowanie on-line	5	MT3	00:33:20
Harmonogram z eM-Planta			00:32:33
Sterowanie harmonogramu z eM-Planta			00:33:12

Różnice czasów obu weryfikacji wynika z błędów pomiarowych powstałych przy ustalaniu czasów związanych z obsługą przez podsystemy transportowy i magazynowy. Przy sterowaniu on-line minimalna różnica czasu wynika ze złożoności obliczeniowej programu sterującego i znacznej liczby reguł rozmytych.

5. PODSUMOWANIE

Sterowanie systemem możliwe jest na podstawie harmonogramów generowanych za pomocą standardowego oprogramowania oraz na podstawie harmonogramów tworzonych on-line przy wykorzystaniu metod sztucznej inteligencji.

Zastosowanie metod sztucznej inteligencji daje możliwości bezpośredniej zmiany algorytmów i harmonogramów sterowania w miarę napływu nowych zleceń produkcyjnych.

Różnice czasu realizacji zleceń w rzeczywistym systemie wytwarzania nie przekraczają 47 sekund co świadczy o możliwości zastosowania takiej metody, szczególnie jeżeli do sterowania systemem wytwarzania zostanie wykorzystany optymalny harmonogram.

Literatura

[1] HONCZARENKO J., BERLIŃSKI A., SZUMOTALSKI W., SOSNOWSKI M.: *Miniaturowy system elastycznego inteligentnego wytwarzania*. PAR Miesięcznik Naukowo-Techniczny, nr 7-8/2002, s. 5-9.

[2] JAŁOWICKI S., *Zadaniowe sterowanie zrobotyzowanym systemem wytwarzania z zastosowaniem metod sztucznej inteligencji*. Politechnika Szczecińska, Szczecin, 2003 (rozprawa doktorska, nie publikowana).

[3] HONCZARENKO J., BERLIŃSKI A., SZUMOTALSKI W., SOSNOWSKI M.: *Sterowanie badawczym systemem elastycznego inteligentnego wytwarzania*. Materiały Konferencji Naukowo-Technicznej AUTOMATION 2002, Warszawa 20-22 marzec 2002, s. 140-148.

[4] Raport z realizacji projektu badawczego nr 8 T07D 00420: *Badawczy system elastycznego inteligentnego wytwarzania*. Szczecin 2003 (nie publikowany).