

Prof. dr hab. inż. Jerzy Honczarenko
Mgr inż. Sławomir Jałowicki
Politechnika Szczecińska
Zakład Zautomatyzowanych Systemów Wytwarzania

MODEL SYMULACYJNY ELASTYCZNEGO INTELIAGENTNEGO SYSTEMU WYTWARZANIA

W referacie przedstawiono utworzony w programie eM-Plant model symulacyjny elastycznego inteligentnego systemu wytwarzania zbudowanego w ZZSW Politechniki Szczecińskiej. Opracowano algorytmy sterowania podsystemem magazynowo-transportowym podczas procesu symulacji z wykorzystaniem metod tradycyjnych i metod sztucznej inteligencji. W referacie przedstawiono przede wszystkim zastosowanie wnioskowania rozmytego. W programie eM-Plant nie ma możliwości tworzenia baz reguł, stąd też zbudowany w eM-Plant model połączony został z programem FLLoader, wykorzystującym bazy reguł utworzone w FuzzyTech. Powstała w ten sposób kombinacja między trzema programami: eM-Plant – FLLoader – FuzzyTech, co jest oryginalnym rozwiązaniem autorów pracy.

SIMULATIONS MODEL OF THE FLEXIBLE INTELLIGENT MANUFACTURING SYSTEM

The paper presents the built-in eM-Plant program simulations model of the flexible manufacturing system, which was constructed in the ZZSW of Technical University of Szczecin. Control algorithms of storing-transporting subsystem during simulations process with approach traditional method and method of artificial intelligence were designed. Paper presents mainly application of fuzzy logic reasoning. eM-Plant program has no a possibility to build the rule block. Built-in eM-plant model connected with FLLoader program uses the rule block made in FuzzyTech program. The combination between those three programs: eM-Plant – FLLoader – FuzzyTech, is the original solution of the authors of the paper.

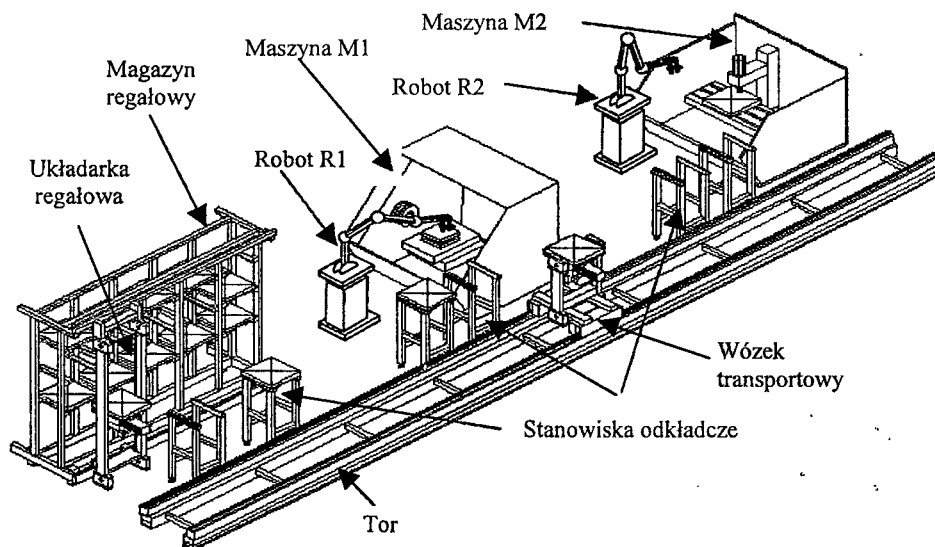
1. WPROWADZENIE

W Zakładzie Zautomatyzowanych Systemów Wytwarzania (ZZSW) Politechniki Szczecińskiej w ramach projektu KBN¹ zbudowano miniaturowy, badawczy system elastycznego inteligentnego wytwarzania, mający od strony konfiguracji, organizacji i sterowania cechy rzeczywistego systemu. Opis systemu opublikowano już w materiałach ubiegłorocznego AUTOMATION [1], a także w miesięczniku PAR [2].

¹ Praca wykonana w ramach projektu badawczego nr 8T07D 00420 „Badawczy system elastycznego inteligentnego wytwarzania” finansowanego przez KBN.

Na rys. 1 przedstawiono konfigurację zbudowanego systemu wytwarzania o wymiarach 4x1,5 [m]. System umożliwia obróbkę przedmiotów na maszynie M1 (tokarka) oraz elementów na maszynie M2 (frezarka). Przedmioty przeznaczone do obróbki oraz obrobione umieszczane są na paletach składowanych w magazynie (wymiary palet 160x160 mm). Magazyn regałowy obsługiwany jest przez układarkę i ma pojemność 5x3=15 palet. Palety transportowane są do stanowisk odkładczych przy obrabiarkach za pomocą wózka szynowego wyposażonego w urządzenie manipulujące paletą. Przy każdej maszynie znajdują się dwa stanowiska odkładcze pełniące funkcję magazynów buforowych.

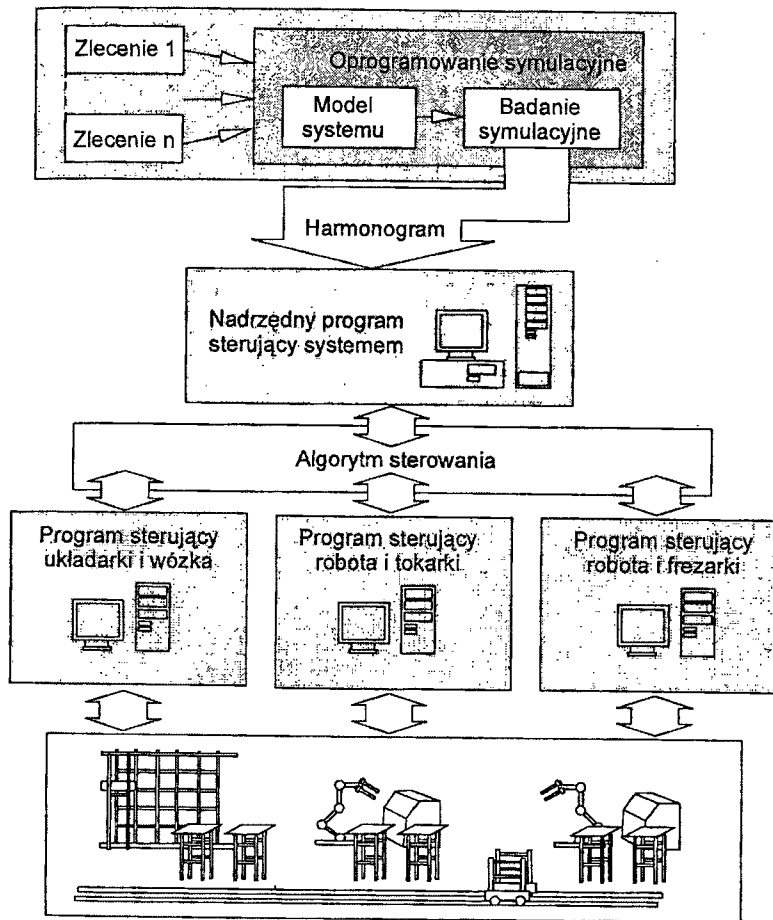
Celem budowy systemu było umożliwienie doświadczalnej weryfikacji komputerowych symulacji nowych metod planowania i harmonogramowania wytwarzania. Warunkiem przeprowadzenia takiej weryfikacji jest zbudowanie modelu symulacyjnego systemu, zaprezentowanie rozwiązania tego zadania jest przedmiotem referatu. Model symulacyjny utworzono w programie eM-Plant, opracowano algorytmy sterowania podsystemem magazynowo-transportowym podczas procesu symulacji z wykorzystaniem metod tradycyjnych i metod sztucznej inteligencji. W referacie przedstawiono przede wszystkim zastosowanie wnioskowania rozmytego.



Rys. 1. Konfiguracja miniaturowego systemu wytwarzania

2. IDEA STEROWANIA SYSTEMEM WYTWARZANIA

Koncepcję sterowania pracą zbudowanego systemu wytwarzania przedstawiono na rys. 2. Harmonogram wygenerowany może być w komputerze znajdującym się na zewnątrz systemu wytwarzania i przesłany za pomocą Internetu lub generowany bezpośrednio w komputerze sterującym i korygowany dynamicznie w miarę napływu zleceń z zewnątrz.



Rys. 2. Idea sterowania pracą systemu wytwarzania na podstawie harmonogramów generowanych w programach symulacyjnych

Po badaniach weryfikacyjnych i uzyskaniu zgodności wyników symulacji komputerowych prowadzonych dla szczegółowych danych systemu z wynikami doświadczalnymi można będzie uznać, iż opracowany model systemu jest prawidłowy. Sterowanie pracą systemu odbywa się w ten sposób, że w modelu systemu na podstawie otrzymywanych zleceń prowadzone są badania symulacyjne, czego wynikiem jest harmonogram pracy systemu. Harmonogram zostaje przesłany do komputera sterującego, gdzie na jego podstawie zostaje wygenerowany algorytm sterowania systemem, który jest przesyłany i realizowany przez poszczególne podsystemy. Do harmonogramowania wytwarzania oraz sterowania systemem wykorzystać będzie można znane metody oparte o standardowe oprogramowanie, a także narzędzia programowe leżące w obszarze sztucznej inteligencji, a przede wszystkim logikę rozmytą.

Zaprezentowana strategia działania, tzn. najpierw tworzenie i badanie harmonogramu pracy systemu na drodze modelowania i symulacji, a potem sterowanie jego pracą na

podstawie sprawdzonego i zweryfikowanego harmonogramu pozwala na uniknięcie blokad będących efektem konfliktów zasobowych.

3. MODEL SYSTEMU W PROGRAMIE eM-Plant

3.1. Założenia do budowy modelu

Celem modelowania jest wygenerowanie harmonogramu do sterowania pracą systemu rzeczywistego. Priorytetem jest uzyskanie najkrótszego czasu obróbki wszystkich zleceń produkcyjnych. Odbywa się to uwzględniając cele cząstkowe, czyli uzyskanie możliwie najwyższych współczynników wykorzystania maszyn produkcyjnych oraz minimalizację liczby przebrojeń. Podstawowymi czynnikami jakie mają wpływ na osiągnięcie powyższych celów są: odpowiednie sterowanie pracą układarki (kolejność wyjmowania palet) i odpowiednie sterowanie pracą wózka (kolejność obsługi magazynów buforowych).

Działanie systemu, uwzględnione w modelu, opiera się na następujących zasadach:

- na paletach znajduje się określony typ przedmiotów, a dane (rodzaj przedmiotu, liczba sztuk oraz rodzaj materiału) zapisane są za pomocą kodu kreskowego,
- czynnik na układarce regałowej odczytuje kod palety celem sprawdzenia zgodności umieszczonego na niej przedmiotu z jej położeniem w magazynie,
- dla każdej palety istnieją zadane marszruty technologiczne, a przedmioty mogą być obrabiane:
 - na obrabiarce M1 i M2 → marszruta technologiczna MT1 (Mag, M1, M2, Mag),
 - na obrabiarce M2 i M1 → marszruta technologiczna MT2 (Mag, M2, M1, Mag),
 - tylko na obrabiarce M1 → marszruta technologiczna MT3 (Mag, M1, Mag),
 - tylko na obrabiarce M2 → marszruta technologiczna MT4 (Mag, M2, Mag),gdzie: Mag – magazyn regałowy, M1, M2 – obrabiarce,
- wózek transportowy przygotowany jest do przenoszenia jednej palety,
- w każdym ze stanowisk odkładczych może znajdować się tylko jedna paleta.

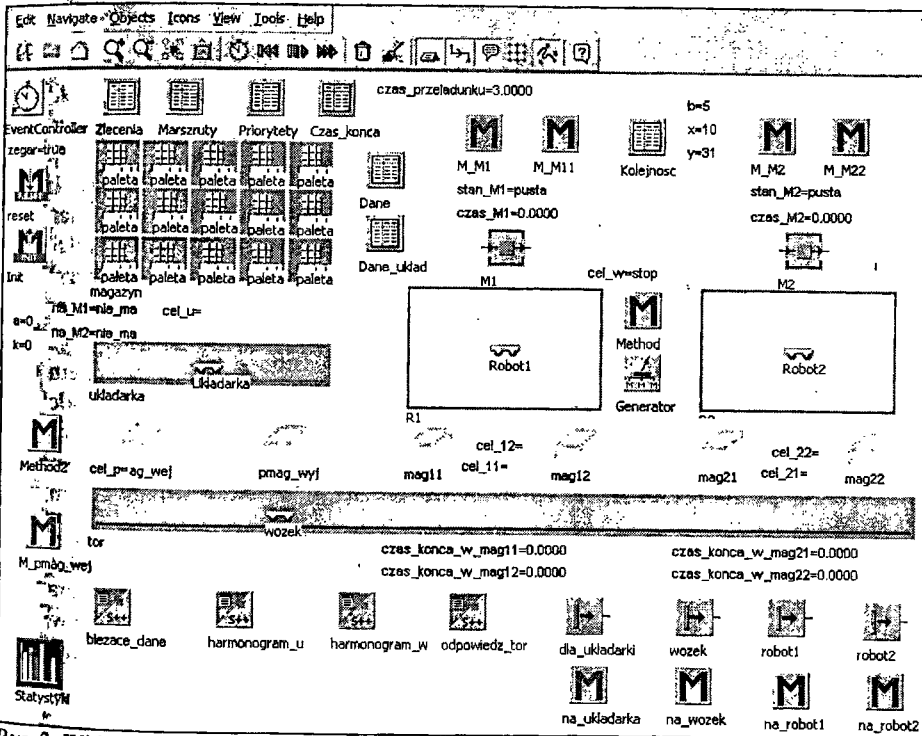
W modelu rozważanych będzie 5 modeli różniących się między sobą metodami sterowania dla układarki lub wózka:

- wózek logika rozmyta, układarka logika rozmyta (wózek FL – układarka FL),
- wózek reguła FIFO, układarka logika rozmyta (wózek FIFO – układarka FL),
- wózek reguła FIFO, układarka FIFO (wózek FIFO – układarka FIFO),
- wózek reguły heurystyczne, układarka reguły heurystyczne (wózek RH – układarka RH)
- wózek reguła FIFO, układarka z zadaniem algorytmem wyboru palet (Wózek FIFO – Układarka Alg.).

3.2. Model systemu

Rzeczywisty zminiaturyzowany system inteligentnego wytwarzania, przedstawiony na rys. 1, zamodelowano w programie eM-Plant (rys. 3). Program ten pozwala planować, symulować i optymalizować procesy produkcji dla rzeczywistego systemu.

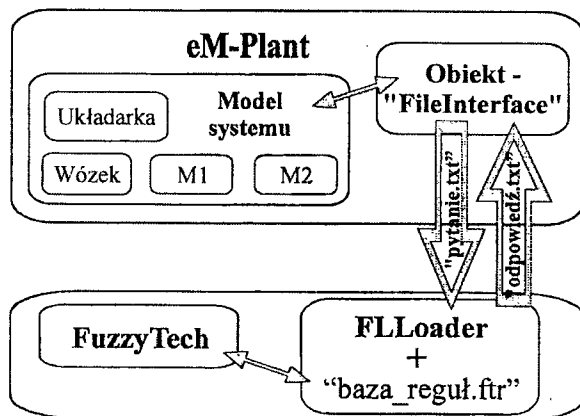
W referacie pokazano ten fragment sterowania modelem, w którym decyzje sterujące pracą wózka i układarki podejmowane są w oparciu o wnioski z rozmyte. W tym celu wykorzystano programy eM-Plant, FuzzyTech i FLLoader. Program eM-Plant nie posiada możliwości tworzenia w nim baz reguł, wyposażony jest natomiast w moduł czytający dane z zewnątrz. W takiej sytuacji zbudowany w eM-Plant model połączony został z programem FLLoader, wykorzystującym bazy reguł utworzone w FuzzyTech. Powstała w ten sposób kombinacja między trzema programami: eM-Plant – FLLoader – FuzzyTech. Proces współpracy wszystkich trzech programów przedstawiono schematycznie na rys. 4.



Rys. 3. Widok okna modelu miniaturowego systemu wytwarzania w eM-Plant

3.3. Aplikacja FLLoader

Schemat współdziałania programów przedstawia proces uzyskiwania odpowiedzi dla sterowania wózkiem i układarką w eM-Plant z bazy reguł napisanej w programie FuzzyTech. W trakcie pracy układarki i wózka występują zdarzenia, które powodują, iż dla tych urządzeń można przeprowadzić wnioski z rozmyte w celu określenia kolejnego zadania manipulacyjnego lub transportowego.



Rys. 4. Schemat współdziałania trzech programów

Dane zapisane w programie eM-plant w postaci pliku „*pytanie.txt*” (czas zakończenia obróbki palet w poszczególnych magazynach buforowych, ich kolejny cel, stan magazynu regałowego itd.), zostają odczytane przez program FLLoader, który traktuje je jako zmienne wejściowe, a następnie korzystając z bazy reguł utworzonej w FuzzyTech, podaje odpowiedź w postaci pliku „*odpowiedź.txt*”.

Program FLLoader napisany został w języku Visual Basic 6.0, a jego zadaniem jest pobieranie danych wejściowych, z plików wygenerowanych w wyniku pracy modelu w eM-Plant, do baz reguł dla układarki, bądź dla wózka, a następnie wybór wyniku z najwyższą wagą i zapis odpowiedzi w postaci pliku tekstowego. Powstały w ten sposób plik zostaje odczytany podczas dalszej pracy systemu, a zawarta w nim informacja służy do sterowania wózkiem lub układarką.

Program FLLoader korzysta z baz reguł utworzonych w programie FuzzyTech używając do tego celu odpowiednich funkcji języka Visual Basic, pozwalających pobierać dane z plików o rozszerzeniu „*baza_reguł.ftr*”. Pliki tego rodzaju stanowią po skompilowaniu w FuzzyTech bazę reguł, współpracującą z programami napisanymi w języku Visual Basic.

4. MODELOWANIE PRACY SYSTEMU Z WYKORZYSTANIEM LOGIKI ROZMYTEJ

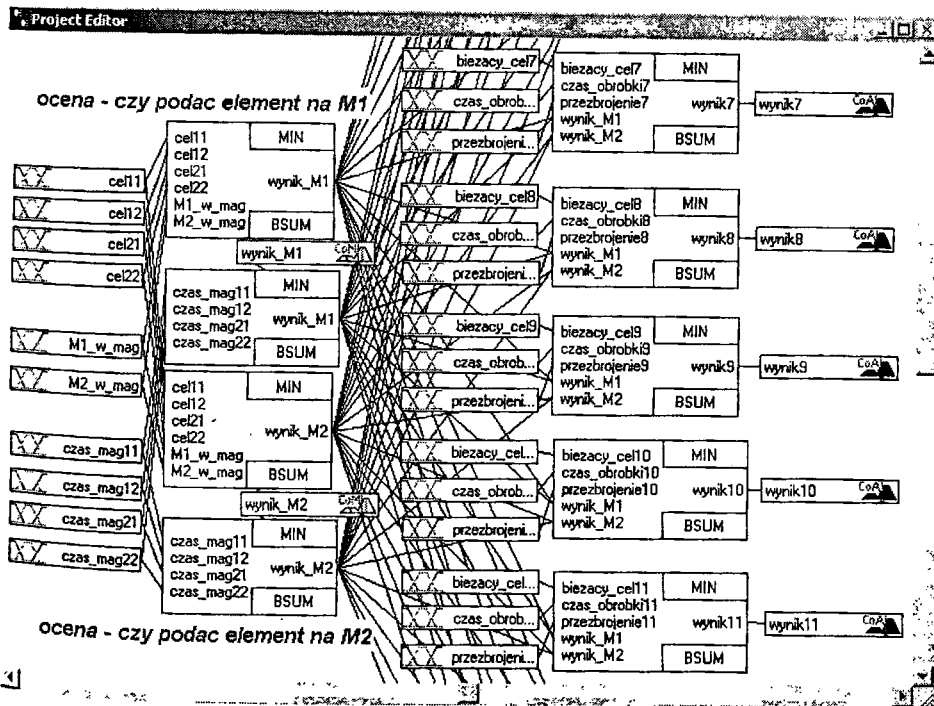
4.1. Bazy reguł dla układarki regałowej

W trakcie pracy układarki stale zachodzi sytuacja, w której podejmowana jest decyzja o wyborze palety z kolejnym przedmiotem przeznaczonym do obróbki. Metoda sterowania układarką polega na generowaniu pliku z danymi – „*pytanie.txt*” dla programu FLLoader. Dane wygenerowane w tym pliku zawierają 55 zmiennych wejściowych dla utworzonej bazy reguł (rys. 5):

- 4 zmienne z kolejnym celem dla części na paletach lub aktualnym stanem stanowisk odkładczych (*cel11, cel 12, cel 21, cel 22*),

- 4 zmienne zawierające czas zakończenia obróbki części w każdym ze stanowisk odkładczych (*czas_mag11, czas_mag12, czas_mag21, czas_mag22*),
- 2 zmienne informujące, czy są w magazynie regałowym palety z częściami do obróbki przeznaczone na maszynę M1 oraz na M2 (*M1_w_mag, M2_w_mag*),
- 15 zmiennych dotyczących aktualnego celu obróbki części na paletach (np. *biezacy_cel9*),
- 15 zmiennych dotyczących czasu obróbki części na paletach (np. *czas_obrobki9*),
- 15 zmiennych dotyczących konieczności przebrojenia maszyny dla części znajdujących się na paletach (np. *przebrojenie9*).

Decyzja w programie FLloader o pobraniu z magazynu określonej palety, podejmowana jest dwustopniowo. Najpierw dokonuje się oceny słuszności wyjęcia palety z przedmiotem na maszynę M1 oraz na maszynę M2. Otrzymane w ten sposób wyniki wyboru palety na maszynę M1 - „wynik_M1” oraz na maszynę M2 - „wynik_M2”, traktowane są następnie jako parametry wejściowe, które wraz z kolejnymi parametrami tworzą dalszą część bazy reguł. Każda z baz (dla 15 palet) uzyskuje w procesie wnioskowania ostateczną ocenę. Najwyższa ocena z pośród wszystkich 15 wyników jest odpowiedzią, która z palet powinna zostać pobrana przez układarkę. Odpowiedź dla układu sterowania układarki wysyłana jest przez program FLloader w postaci pliku tekstowego „odpowiedz.txt”.

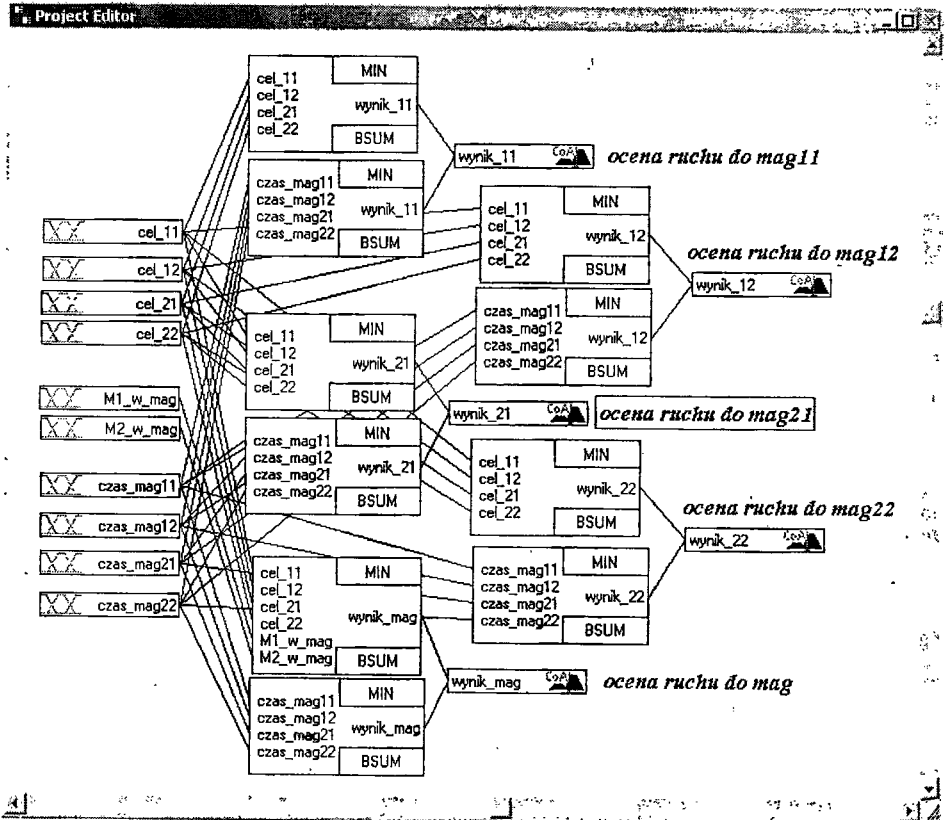


Rys. 5. Schemat bazy reguł dla układarki regałowej w FuzzyTech

4.2. Bazy reguł dla wózka transportowego

Praca wózka transportowego jest ściśle powiązana z pracą układarki, efektem tej współpracy jest komunikacja między wózkiem i układarką odnośnie załadowania stanowiska odkładczego – mag_wej. Sprawdza się, czy przynajmniej jedno ze stanowisk odkładczych obu maszyn jest wolne oraz czy w magazynie głównym znajduje się jeszcze paleta z przedmiotem przeznaczonym do obróbki na danej maszynie. Jeśli tak, to wysyłany jest sygnał o pobraniu palety przez układarkę, jeśli nie, to wózek wykonuje inny ruch. Paleta pobierana jest więc przez układarkę z magazynu tylko wtedy, gdy wózek może wykonać kolejny ruch, tzn. przetransportować ją na stanowisko odkładcze. W przeciwnym razie stanowisko odkładcze mag_wej pozostaje puste.

Przedstawiony przykład podejmowania decyzji o wyborze ruchu – zadania transportowego zrealizowany zostanie przez wnioskowanie oparte na logice rozmytej. Schemat budowy bazy reguł oraz mechanizm otrzymywania wyników dla oceny poszczególnych ruchów wózka przedstawiono na rys. 6.



Rys. 6. Schemat bazy reguł dla wózka transportowego w FuzzyTech

Analogicznie jak w przypadku układarki, w metodzie sterowania wózkiem generowany jest plik z danymi – „*pytanie.txt*” dla programu FLLoader. Dane wygenerowane w tym pliku zawierają 10 zmiennych wejściowych dla utworzonej bazy reguł:

- 4 zmienne z kolejnym celem dla części na paletach lub aktualnym stanem stanowisk odkładczych (*cel11, cel 12, cel 21, cel 22*),
- 4 zmienne zawierające czas zakończenia obróbki części w każdym ze stanowisk odkładczych (*czas_mag11, czas_mag12, czas_mag21, czas_mag22*),
- 2 zmienne informujące, czy są w magazynie regałowym palety z częściami do obróbki przeznaczone na maszynę M1 oraz na M2 (*M1_w_mag, M2_w_mag*).

Zbudowany układ wnioskowania rozmytego składa się z 10 baz reguł; 5 z nich uwzględnia informacje o stanach stanowisk odkładczych maszyn i stanie magazynu głównego, natomiast kolejnych 5 baz uwzględnia czasy zakończenia obróbki przedmiotów powracających z obrabiarek na palety znajdujące się na stanowiskach odkładczych. Taki sposób powiązania baz reguł umożliwi uzyskanie ocen dla wszystkich pięciu ruchów możliwych do wykonania przez wózek (ruch do pięciu stanowisk). Najwyższa ocena z pośród tych 5 wyników, jest odpowiedzią dla układu sterowania wózka odnośnie wyboru kolejnego zadania transportowego. Odpowiedź następnie podawana jest w postaci pliku tekstowego – „*odpowiedz.txt*” przez program FLLoader.

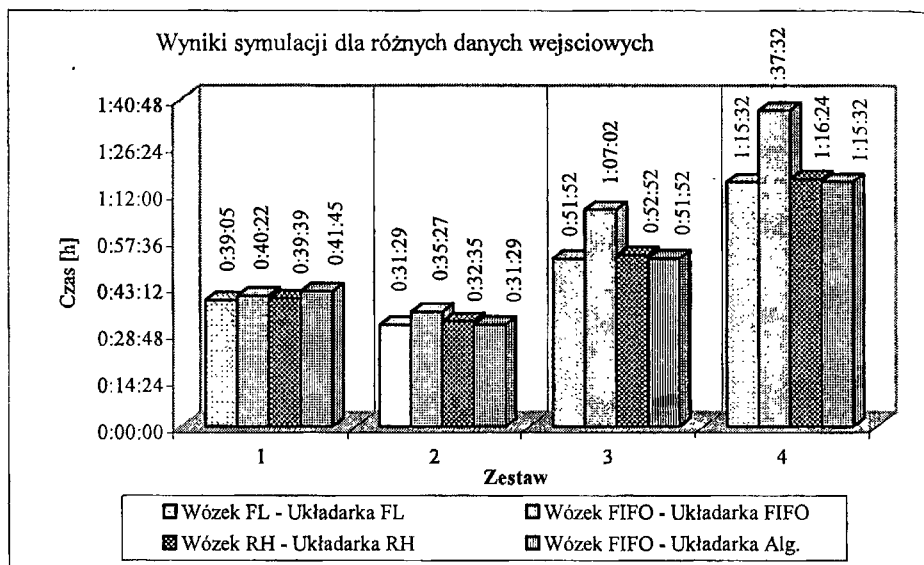
5. BADANIA, WYNIKI, WNIOSKI

Dla przedstawionej powyżej koncepcji sterowania pracą układarki oraz wózka, przeprowadzono wstępne badania symulacyjne. W tabeli 1 zestawiono dane wejściowe, przy czym dla zestawu 1 pominięto przebrojenia maszyn (kod B).

Tabela 1. Dane wejściowe

Nr zestawu	Liczba szt. na palecie	Liczba palet	Marszruta	Czas obróbki na M1	Czas obróbki na M2	Kod	Czas przebr. na M1	Czas przebr. na M2
1	1	8	MT1	0:01:40	0:01:51	B	0:00:56	0:00:54
	1	7	MT2	0:01:01	0:01:56	B	0:00:56	0:00:54
2	1	3	MT1	0:01:20	0:01:52	A	0:00:58	0:00:52
	1	4	MT2	0:01:01	0:01:56	D	0:00:52	0:00:48
	1	4	MT3	0:02:30	-	C	0:00:52	-
	1	4	MT4	-	0:01:51	B	-	0:00:54
3	2	4	MT1	0:01:20	0:01:52	A	0:00:58	0:00:52
	2	4	MT2	0:01:01	0:01:56	D	0:00:52	0:00:48
	2	4	MT3	0:02:30	-	C	0:00:52	-
	2	3	MT4	-	0:01:51	B	-	0:00:54
4	3	3	MT1	0:01:20	0:01:52	A	0:00:58	0:00:52
	3	4	MT2	0:01:01	0:01:56	D	0:00:52	0:00:48
	3	4	MT3	0:02:30	-	C	0:00:52	-
	3	4	MT4	-	0:01:51	B	-	0:00:54

Celem badań było sprawdzenie poprawności działania modeli ze sterowaniem rozmytym przez porównanie otrzymanych wyników końcowych dla modeli z tradycyjnymi metodami sterowania (rys. 7).



Rys. 7. Wyniki przeprowadzonych symulacji komputerowych: FL – logika rozmyta, RH – reguły heurystyczne, FIFO – reguły FIFO, Alg. – zadany algorytm wyboru palet

Otrzymane wyniki wskazują, iż model, którego sterowanie oparto na logice rozmytej (wózek FL – układarka FL) odpowiada efektywnością pracy, dla wszystkich zestawów danych, modelom (wózek FIFO – układarka Alg.) oraz (wózek RH – układarka RH). Wskazuje to na poprawną pracę modelu z logiką rozmytą. Najdłuższe sumaryczne czasy obróbki, szczególnie dla zestawu danych nr 3 i 4, uzyskano dla modelu (wózek FIFO – układarka FIFO).

W wyniku przedstawionej symulacji uzyskuje się harmonogramy, które mogą służyć do sterowania pracą rzeczywistego systemu. Pozwala to na wybór najlepszego algorytmu sterowania, a także określenie wielkości i kolejności serii produkcyjnych. Po uruchomieniu systemu, przeprowadzone zostaną badania weryfikacyjne celem sprawdzenia zgodności wyników symulacji komputerowych z wynikami doświadczalnymi.

6. LITERATURA

- [1] Honczarenko J., Berliński A., Sosnowski M., Szumotalski W.: „Sterowanie badawczym systemem elastycznego inteligentnego wytwarzania”, AUTOMATION 2002, s. 140-147, 20-22 marca 2002, Warszawa.
- [2] Honczarenko J., Berliński A., Sosnowski M., Szumotalski W.: „Badawczy system elastycznego inteligentnego wytwarzania”, PAR, nr 7-8/2002.