

KIWIEL



POLSKA AKADEMIA NAUK
Instytut Badań Systemowych

WSPOMAGANIE DECYZJI

SYSTEMY EKSPERCKIE

pod redakcją

Romana Kulikowskiego i Lucyny Bogdan

Warszawa 1995

WSPOMAGANIE DECYZJI

SYSTEMY EKSPERCKIE

pod redakcją

Romana Kulikowskiego i Lucyny Bogdan

Warszawa 1995

Wydano z wykorzystaniem dotacji
KOMITETU BADAŃ NAUKOWYCH

Materiały konferencji: "Analiza Decyzyjna, Systemy Ekspertckie, Zastosowania Systemów Komputerowych",
Warszawa, 25-27 maja 1994r.

Komitet Programowy Konferencji:

Andrzej Ameljańczyk, Zdzisław Bubnicki, Wiesław Grudzewski, Olgierd Hryniewicz, Janusz Kacprzyk, Lech Kruś, Roman Kulikowski (przewodniczący), Kazimierz Mańczak, Ireneusz Nykowski, Zdzisław Pawlak, Roman Słowiński, Andrzej Straszak, Andrzej Weryński, Andrzej Wierzbicki.

Wykonano z oryginałów tekstowych dostarczonych przez autorów

© Instytut Badań Systemowych PAN, Warszawa 1995

ISBN 83-85847-85-5

PROTOTYP SYSTEMU EKSPERTOWEGO DO PROJEKTOWANIA PROCESÓW TECHNOLOGICZNYCH OBRÓBKI SKRAWANIEM

JAN DUDA, JANUSZ POBOŹNIAK

Instytut Technologii Maszyn i Automatyzacji Produkcji

Politechnika Krakowska

Al. Jana Pawła II 19a

31 - 864 Kraków

STRESZCZENIE

Projektowanie procesu technologicznego obróbki z uwagi na swoją złożoność rozwiązywane jest przez technologa etapowo, od ogólnej koncepcji do szczegółowych rozwiązań. W pracy przedstawiono prototyp systemu ekspertowego z bazą wiedzy technologicznej opartą na hierarchicznym modelu sieciowym. Ze względu na charakter wiedzy technologicznej dokonano jej podziału na dwie grupy: wiedzę sterującą i projektową. Na podstawie przedstawionego sposobu reprezentacji wiedzy wyróżniono trzy etapy projektowe; wybór uogólnionej struktury procesu technologicznego, rewersyjne projektowanie półfabrykatu oraz generowanie procesu obróbki tworząc spójny model podejmowania decyzji projektowych. Do jego weryfikacji zastosowano szkieletowy system ekspertowy EXSYS.

1. WSTĘP

Wspomagane komputerowo projektowanie procesów technologicznych jest interfejsem pomiędzy procesami komputerowo wspomaganego konstruowania i wytwarzania. Jest to więc jedno z ogniw planowania pracy systemu wytwarzania, które w istotny sposób wpływa na rezultaty produkcji. W związku z ciągłym rozwojem systemów wytwarzania a także doskonaleniem sprzętu komputerowego i oprogramowania notuje się szybki postęp w tej dziedzinie. Projektowanie procesu technologicznego jest twórczym procesem myślowym i w związku z powyższym obecne tendencje zmierzają w kierunku systemów opartych na bazie wiedzy. Powszechnie

używane techniki w budowie systemów ekspertowych nie spełniają wymagań w przypadku próby ich bezpośredniego przeniesienia do projektowania procesów technologicznych. Jednym z głównych powodów jest rozległość wiedzy technologicznej i związana z tym duża przestrzeń możliwych rozwiązań, wymagająca opracowania stosownych metod reprezentacji i przetwarzania wiedzy. W oparciu o prezentowany w pracach [1, 2, 3, 4] model projektowania procesu technologicznego odzwierciedlający rzeczywiste sytuacje występujące przy projektowaniu procesów technologicznych opracowano prototyp systemu ekspertowego.

2. ARCHITEKTURA SYSTEMU EKSPERTOWEGO

Projektowanie procesu technologicznego obróbki z wykorzystaniem systemu ekspertowego należy traktować jako system projektujący, którego zadaniem jest rozwiązywanie decyzyjnych problemów projektowych. Model systemu projektującego przedstawiono w pracy [2, 4]. Wyodrębniono w nim dwa podsystemy:

- obiekt decydowania, na który wywierany jest wpływ poprzez realizację zaprojektowanego fragmentu procesu technologicznego. Zmianom podlega przedmiot obrabiany oraz stan systemu wytwarzania.
- podmiot decydowania (układ technolog - komputer), który wywiera wpływ tzn. ustala kolejne fragmenty procesu technologicznego obróbki.

Na podstawie przedstawionego w pracy [2, 4] modelu systemu projektującego opracowano schemat działania systemu ekspertowego. Zadaniem systemu ekspertowego do projektowania procesów technologicznych jest wybór i określenie kolejności działań projektowych (operacji i zabiegów) tak, aby zastosowane, pozwoliły na wytworzenie wyrobu w sposób optymalny ze względu na koszt i czasochłonność wykonania wyrobu, przy uwzględnieniu dostępnych środków (np. obrabiarek, oprzyrządowania przedmiotowego, pracowników).

System ekspertowy do projektowania procesów technologicznych rozpatruje się jako połączenie trzech komponentów:

- bazy wiedzy technologicznej określającej ogólnie i szczegółowe prawa i zasady technologiczne budowy procesów technologicznych obróbki.
- bazy danych opisującej możliwości technologiczne systemu wytwarzania,
- mechanizmu sterowania, którego zadaniem jest przetwarzanie wiedzy zgodnie z przyjętą formą jej reprezentacji.

Tak skonfigurowany system ekspertowy rozwiązuje problemy decyzyjne na podstawie charakterystyki zadania projektowego, określającego wielkość produkcji oraz charakterystyki geometryczno-technologicznej przedmiotu obrabianego. W wyniku podejmowania decyzji projektowych następuje modyfikacja baz danych systemu ekspertowego odzwierciedlając tym samym stan zaawansowania projektowania procesu technologicznego.

3. BAZA WIEDZY TECHNOLOGICZNEJ

Podstawą do wyboru reprezentacji wiedzy i mechanizmu jej przetwarzania w projektowaniu procesów technologicznych jest analiza procesu projektowania. Możemy w niej wyróżnić dwa rodzaje działalności. Pierwsza z nich obejmuje zadanie klasyfikacji, które polega na wyborze rozwiązania z wcześniej określonego, skończonego zbioru dopuszczalnych rozwiązań, w oparciu o fakty i dane o rozważanym obiekcie. Problem klasyfikacji jest predysponowany do rozwiązywania z wykorzystaniem tradycyjnej architektury regułowego systemu ekspertowego. Warunki reguł opisują możliwe stany obiektu. W czasie wnioskowania zostaje znaleziona reguła, której warunki dają się uzgodnić ze stanem obiektu. Prawa część tej reguły zawiera rozwiązanie. Zadanie klasyfikacji jest dobrze znane, co znalazło odbicie w faktie, że większość wykorzystywanych praktycznie systemów ekspertowych jest używana do tego celu. Przykładami takich systemów w projektowaniu są systemy GARI i TOM [12]. W rozważanym zastosowaniu zadanie klasyfikacji może polegać na wyborze działania projektowego np. metody obróbki i narzędzia dla powierzchni o zadanej charakterystyce.

Druga grupa działań w projektowaniu procesów technologicznych obejmuje zadanie planowania (syntezy), polegające na ustawieniu działań projektowych w takiej kolejności, aby uzyskać optymalny wg zadanych kryteriów przebieg procesu obróbki. W wyniku rozwiązania zadania planowania nastąpi, przykładowo, określenie dla zadanej części miejsca obróbki wielowypustu zewnętrznego w procesie technologicznym.

Charakter procesu decyzyjnego, występującego w projektowaniu procesów technologicznych określa postać wiedzy technologicznej. Dla opracowanego systemu ekspertowego przyjęto uogólniony model wiedzy technologicznej w postaci wielopoziomowej sieci [4, 5], który przedstawiono na trzech poziomach szczegółowości:

POZIOM I obejmuje wiedzę technologiczną określającą zasady przyporządkowania przedmiotowi obróbki, dla którego opracowywany ma być proces obróbki, wiedzy technologicznej określającej zasady kształtowania uogólnionej struktury procesu technologicznego obróbki. Wiedzę na tym poziomie przedstawić można za pomocą sieci:

$$S_I = \langle D_I, T_I, R_I \rangle$$

gdzie:

D_I - zbiór decyzji projektowych określających reguły wyboru uogólnionej struktury procesu technologicznego obróbki ,

T_I - zbiór działań projektowych określających projektowanie procesu technologicznego obróbki wg wybranej uogólnionej struktury ,

R_I - relacje określone na zbiorze decyzji projektowych i działań projektowych.

Działanie projektowe $t_1 \in T_I$ jest opisane za pomocą sieci S_{II} poziomu II.

POZIOM II

Obejmuje wiedzę technologiczną określającą zasady kształtowania struktury, procesu technologicznego dla zadanego przedmiotu obrabianego. Dla zbioru technologicznie podobnych przedmiotów struktura procesu technologicznego wykazuje pewien porządek technologiczny z uwagi na wzrastającą dokładność oraz kształt i właściwości mechanicznie obrabianych powierzchni. Porządek ten przejawia się w przyjętej w pracach [2, 10] strukturze fazowo stopniowej. Stopnie i fazy są podstawą do wyodrębnienia fragmentów struktury procesu technologicznego w których realizowana powinna być obróbka podzbiorów powierzchni części z określoną dokładnością. Przebieg tych zmian przedstawić można w postaci macierzy stanów [10]. Możliwość zmiany tak ustalonego teoretycznego następstwa kolejnych fragmentów procesu technologicznego zależy, np. od wymagań konstrukcyjnych dotyczących odchyłek położenia powierzchni, prowadzi w konsekwencji do konieczności przyjęcia wielowariantowego modelu wiedzy w formie sieci

$$S_{II} = \langle D_{II}, T_{II}, R_{II} \rangle$$

gdzie:

D_{II} - zbiór decyzji projektowych określających reguły wyboru działań projektowych zmierzających do ustalenia następstwa realizacji faz i stopni oraz ich zakresu dla zadanego przedmiotu obrabianego,

T_{II} - zbiór działań projektowych określających projektowanie procesu technologicznego w zakresie stopnia i fazy procesu,

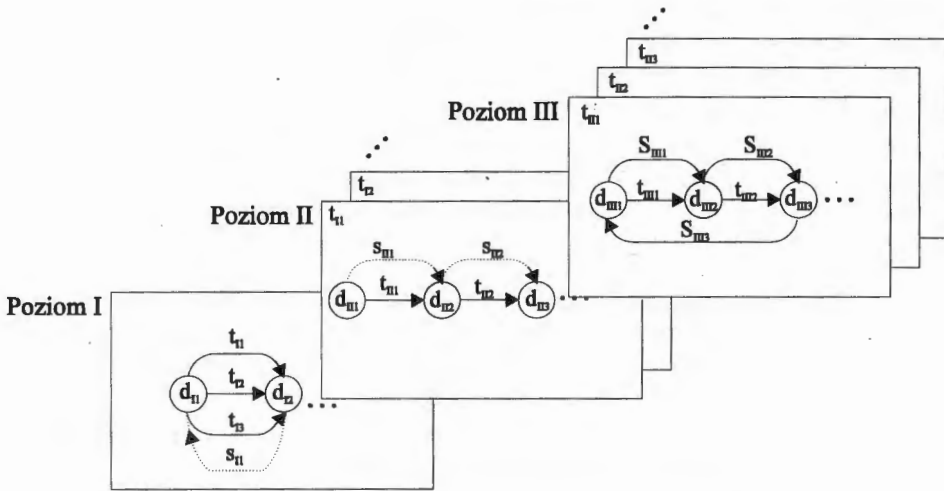
R_{II} - relacja określona na zbiorze decyzji projektowych i działań projektowych. Działanie projektowe $t_{II} \in T_{II}$ jest opisane za pomocą sieci S_{III} poziomu III.

POZIOM III obejmuje wiedzę technologiczną określającą zasady kształtowania struktury procesu technologicznego w obrębie określonego stopnia i fazy procesu. Wiedza technologiczna na tym poziomie pozwala na wybór właściwego modelu działania stosownie do wymagań części obrobionej i przy uwzględnieniu ograniczeń ze strony możliwości technologicznych systemu wytwarzania.

W przypadku gdy w zbiorze działań T_{III} trzeciego poziomu występują działania złożone to wyodrębnić można kolejny IV poziom wiedzy technologicznej określającej zasady kształtowania procesu technologicznego w obrębie działania złożonego. Ideę budowy hierarchicznego modelu wiedzy technologicznej podaje rys.1.. Ze względu na charakter wiedzy technologicznej dokonano jej podziału na dwie grupy: wiedzę sterującą i wiedzę projektową opisane poniżej

3.1 Baza wiedzy sterującej

Wiedza sterująca determinuje zbiór działań projektowych adekwatnych do bieżącego kontekstu projektowania procesu technologicznego a tym samym służy do określenia kolejności w jakiej działania projektowe mogą wystąpić. Pełni więc rolę nadrzędną, sterującą w stosunku do regułowej bazy wiedzy, wykorzystywanej w zadaniu klasyfikacji. Przy jej akwizycji wykorzystano wyniki systematycznie prowadzonych badań nad strukturą procesów technologicznych typowych części maszyn oraz modelem



Rys. 1. Idea budowy technologicznej wiedzy sterującej

zachowania się technologa w czasie projektowania. Wiedza sterująca posiada trzy poziomy, cechujące się różnym stopniem abstrakcji, malejącym w miarę schodzenia na niższe poziomy, pozwalające na:

- wybór, dla zadanej części, uogólnionej struktury procesu technologicznego,
- kształtowanie struktury procesu technologicznego poprzez ustalenie sekwencji stopni i faz,
- projektowanie procesu w obrębie stopnia i fazy.

Określona jest też kolejność osiągania działań projektowych w obrębie każdego z poziomów. Kolejność ta może przykładowo wynikać z uogólnionej struktury procesu technologicznego, wskazującej w jakiej kolejności winna być realizowana obróbka podzbiorów części z określoną dokładnością.

Środki do reprezentacji wiedzy sterującej, spotykane w systemach ekspertowych, takie jak strategie rozstrzygnięcia sytuacji konfliktowych i organizacja reguł w drzewa decyzyjne są niewystarczające. Strategie rozstrzygnięcia sytuacji konfliktowych są nieefektywne ze względu na rozległość wiedzy technologicznej, dającej w efekcie dużą przestrzeń możliwych rozwiązań. Próba zapisu wiedzy sterującej w postaci reguł powoduje połączenie ich przez niejawnie reprezentowaną informację sterującą co w rezultacie utrudnia budowę bazy wiedzy, komplikuje jej strukturę i zmniejsza stopień rozszerzalności i elastyczności. Kluczem do rozwiązania tych problemów jest architektura systemu ekspertowego z dodatkową jawnie reprezentowaną bazą wiedzy sterującej i odpowiednio zmodyfikowanym mechanizmem sterowania. Podstawą do wyodrębnienia wiedzy sterującej jest hierarchiczna struktura sieciowa, odwzorowana w formie ram.

3.2 Baza wiedzy projektowej

Zasady wyboru działań projektowych $d \in D$ odzwierciedla wiedza projektowa. Przedstawić ją można w formie drzewa decyzyjnego. Drzewem decyzyjnym nazywamy graf drzewo, którego korzeń jest tworzony przez wybrany atrybut Q (parametr technologiczny lub geometryczny przedmiotu obrabianego) a poszczególne gałęzie reprezentują wartości tego atrybutu q . Węzły drzewa na następnych poziomach mają przyporządkowane dalsze atrybuty, zaś na najniższym poziomie otrzymujemy węzły charakteryzujące wybrane działania projektowe $t \in T$. Jest ono opisane za pomocą sieci niższego poziomu. Ideę budowy drzew decyzyjnych dla zbioru decyzji projektowych sieci S przedstawia rys.2. Na podstawie drzewa decyzyjnego $d \in D$ wyznaczyć można zbiór reguł postaci IF...THEN określających zasady wyboru działań projektowych $t \in T$.

Przechodząc przez kolejne węzły drzewa tworzymy regułę produkcyjną o rozszerzonej postaci:

IF	warunek1	
	(and/or) warunek2	<i>sprawdzenie warunków wystąpienia</i>
	(and/or) warunek3	<i>działania projektowego</i>
	.	
	.	
THEN		
	t	<i>działanie projektowego</i>
	and p1=...	
	and p2=...	<i>nadanie wartości parametrom</i>
	.	
	.	
	and procedure (p1 , p2...,)	<i>wywołanie procedury</i>
		<i>związanej z działaniem projektowym</i>

W konkluzji reguły następuje nadanie wartości parametrom procedury związanej z wybranym działaniem projektowym p1, p2, ... i wywołanie jej.

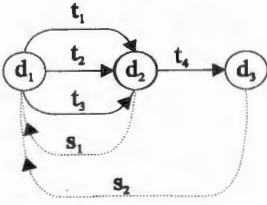
4 MECHANIZM STEROWANIA SYSTEMU EKSPERTOWEGO.

W pracy mechanizmu sterowania systemu ekspertowego do projektowania procesów technologicznych, przetwarzającego wiedzę zorganizowaną w przedstawionej wcześniej formie wyróżnić można trzy etapy [4]:

- wybór właściwej dla zadanej części uogólnionej struktury procesu technologicznego w oparciu o wiedzę zgromadzoną na poziomie I,
- reweryjne projektowanie kształtów pośrednich i półfabrykatu w oparciu o wiedzę technologiczną zgromadzoną na poziomie II i III,

a)

$$S = \langle D, T, R \rangle$$

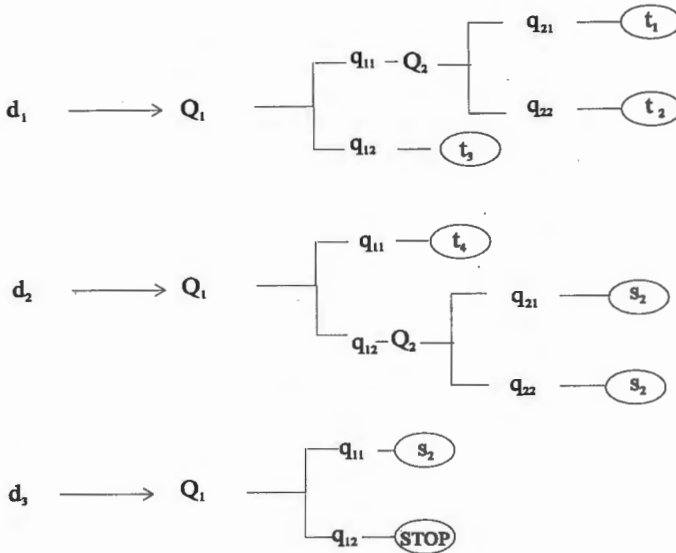


Decyzje projektowe poprzedzające	Działanie projektowe	Decyzje projektowe następujące
d_1	t_1	d_1
d_1	t_2	d_2
d_1	t_3	d_1
d_2	s_1	d_2
d_2	t_4	d_3
d_3	s_2	d_1

$$D = \{d_1, d_2, d_3\}$$

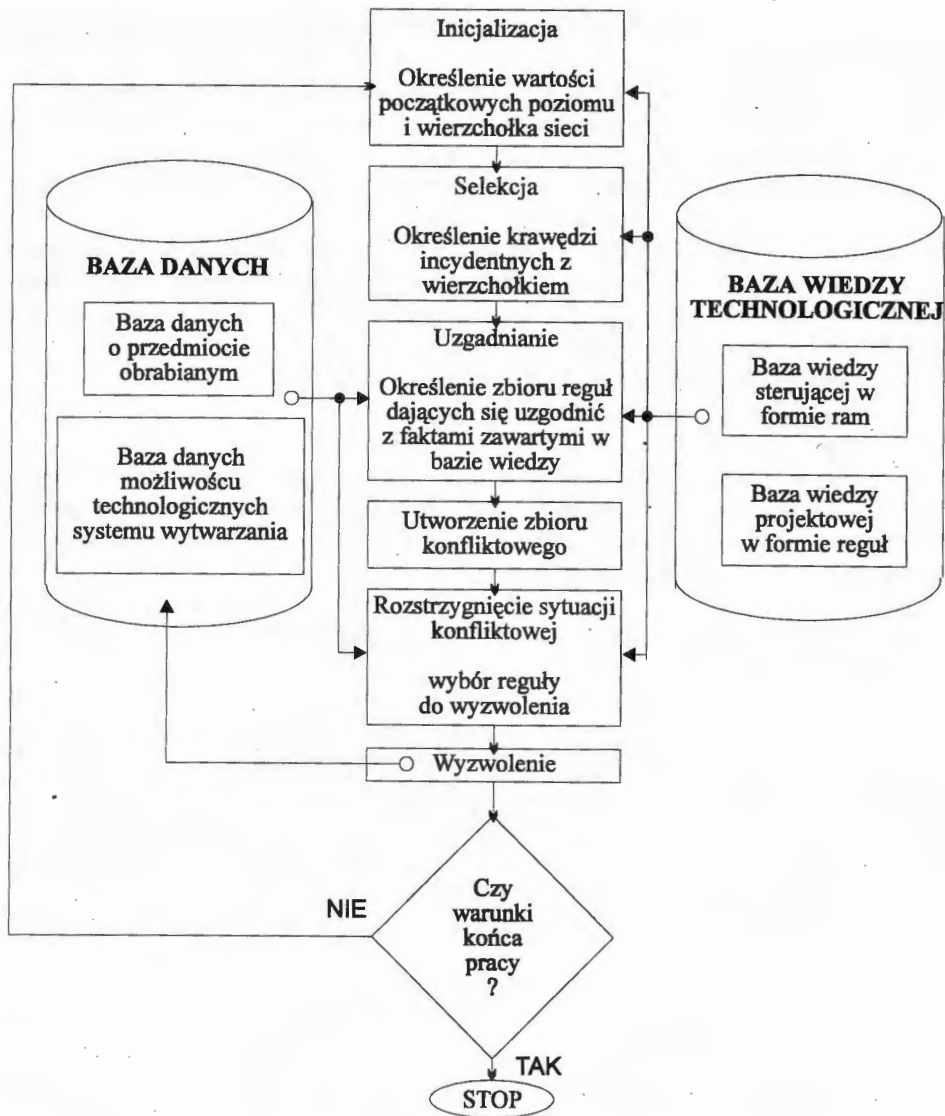
$$T = \{t_1, t_2, t_3, t_4\}$$

b)



Rys. 2 Idea budowy drzew decyzyjnych

- generowane procesu technologicznego jako proces parametryzacji kolejnych działań działań projektowych na podstawie wyznaczonych kształtów pośrednich. Każdy etap pracy mechanizmu sterowania składa się cykli. Jeden cykl pracy przedstawiono na rys. 3. Przetwarzanie realizują następujące kroki:
Inicjalizacja - zainicjowanie kontekstu sytuacji projektowej. Kontekst jest zawsze określany przez zmienną zawierającą nazwę ramy z opisem struktury poziomu i zmienną zawierającą identyfikator aktualnego wierzchołka decyzyjnego.



Rys. 3 Cykl pracy systemu ekspertowego

Selekcja - obejmuje wybór działań projektowych do uzgodnienia. Działania reprezentowane są w sieci przez krawędzie incydentne do wierzchołka decyzyjnego d. Ustala się je przez przeszukanie ramy opisującej poziom sieci.

Uzgadnianie - obejmuje działanie zmierzające do znalezienia reguły która daje się uzgodnić z faktami zawartymi w bazie danych charakteryzującymi stan przedmiotu

obrabianego itp. Uzgodnienie polega na odniesieniu prawej strony reguły do zawartości bazy danych. Jeżeli reguła daje się odnieść do więcej niż jednego zestawu faktów może być wielokrotnie uzgodniona. Zbiór reguł uzgodnionych tworzy tzw zbiór konfliktowy.

Rozstrzygnięcie sytuacji konfliktowej -obejmuje wybór reguły do wyzwolenia ze zbioru konfliktowego . Rozstrzygnięcie sytuacji konfliktowej będzie zależne od przyjętego modelu podejmowania decyzji projektowych (czyli kontekstu sytuacji projektowej), opracowanego dla każdego z etapów.

Wyzwolenie - polega na wykonywaniu akcji przyporządkowanych wybranemu działaniu projektowemu. Zakres tych akcji obejmuje nadanie wartości parametrom procedury związanej z działaniem projektowym i wywołanie jej. Ze względu na sterowanie działania projektowe możemy podzielić na:

- a) powodujące przejście na poziom niższy
- b) powodujące przejście na poziom wyższy
- c) powodujące zmianę wierzchołka w obrębie sieci

W przypadku (a) przy zejściu na niższy poziom zapamiętywania jest nazwa poziomu wierzchołka docelowego. Dane te wykorzystywane są przy powrocie na wyższy poziom.

W przypadku (c) wierzchołek docelowy nie jest parametrem wywołania. Jest on odczytywany z ramy opisującej aktualny poziom.

5. WERYFIKACJA KONCEPCJI ZA POMOCĄ SZKIELETOWEGO SYSTEMU EKSPERTOWEGO

Przedstawiony algorytm działania systemu ekspertowego został zaimplementowany w wewnętrznym języku programowania szkieletowego systemu ekspertowego EXSYS PROFESSIONAL v. 4.0. Wykorzystano mechanizmy do uruchamiania i wymiany danych pomiędzy programami zewnętrznymi napisanymi dla środowiska WINDOWS a systemem EXSYS. Opracowana aplikacja cechuje się dużym stopniem przyjazności dla użytkownika co osiągnięto poprzez zaprojektowanie indywidualnych ekranów. Mechanizmy objaśniające pozwalają między innymi na:

- odpowiedź na pytanie WHY - wyświetlenie reguły, której uzgadnianie wymusiło zadanie pytania,
- anulowanie wprowadzonych odpowiedzi - UNDO,
- zmianę wprowadzonych danych i ponowne przeprowadzenie wnioskowania dla bieżącego kontekstu sytuacji projektowej - CHANGE and RERUN,
- wyświetlenie tekstu podpowiedzi z odsyłaczami (ang. hypertext), w ten sposób użytkownik może poznać strukturę i powiązania pomiędzy poszczególnymi poziomami wiedzy oraz jest informowany o bieżącym kontekście sytuacji projektowej (rys. 4),
- odpowiedź na pytanie WHY - wyświetlenie reguł, które w trybie wnioskowania wstecz zakwalifikowały cel do zbioru konfliktowego wraz z podaniem wartości wyrażań wchodzących w skład warunków (rys. 5).

Dalsze prace mają na celu rozbudowę interfejsu do systemów CAD oraz procedur do rozpoznawania i transformacji przedmiotu obrabianego.

LITERATURA

- [1] DUDA J., *Modelowanie procesu decyzyjnego systemu doradczego projektowania technologii*. Materiały konferencji "Podstawy technologii maszyn" 91 Wrocław 1991.
- [2] DUDA J., *A Proposal for Creating a Set of Decision Rules in an Advisory System for Technology Design*. 24th CIRP International Seminar on Manufacturing Systems Copenhagen 1992., s.229-238.
- [3] DUDA J., *Modelling of the Decisions Process in an Advisory System for technological Design* [w:] Int J Adv Manuf Technol vol. 1 nr 1 1994
- [4] DUDA J., *Modelling of the knowledge in an advisory system for process planning Concurrent Engineering: Research and Application* vol. 1, nr 4 1993
- [5] DUDA J., POBOŻNIAK J., *Hierarchiczny model wiedzy technologicznej* Politechnika Krakowska Monografie 150, Kraków 1993
- [6] DUDA J., POBOŻNIAK J., *Rewersyjna metoda projektowania kształtów pośrednich i półfabrykatu w komputerowo wspomaganym projektowaniu procesów technologicznych* IX Konferencja "Metody i środki projektowania wspomaganego komputerowo" IPBM Politechnika Warszawska
- [7] Dym, C.L., Levitt R.E., *Knowledge based systems for engineering* McGraw - Hill, Inc. 1991
- [8] HAM I., LU S., *Computer Aided Planning - The present and the Future* [w:] Annals of the CIRP Vol.37/2/1988, s.591- 601.
- [9] JĘDRZEJOWICZ P., *Wybrane modele w produkcji i eksploatacji*. WKŁ Warszawa, 1981.
- [10] SAMEK A., DUDA J., *A system of Computer Aided Generation of Machining Processes* . 24th CIRP International Seminar on Manufacturing Systems Copenhagen 1992.,s.125-133
- [11] SAUERS R., *Controlling expert systems* w: Bolc L., Coombs M.J., *Expert systems application* Springer Verlag 1988
- [12] SOHLENIUS G., KJELLBERG T., *artificial intelligence and its potential use in the manufacturing system* Annals of the CIRP vol. 35/2/1986

ISBN 83-85847-85-5

**W celu uzyskania bliższych informacji i zakupu dodatkowych egzemplarzy
prosimy o kontakt
z Instytutem Badań Systemowych PAN
ul. Newelska 6, 01-447 Warszawa
tel. 36-19-01 w. 241 e-mail: kotuszew@ibspan.waw.pl**