

# REGUŁOWO – HIERARCHICZNA REPREZENTACJA WIEDZY W PLANOWANIU PROCESÓW TECHNOLOGICZNYCH

Edward CHLEBUS, Kamil KROT, Michał KULIBERDA

**Streszczenie:** W pracy scharakteryzowano etap budowy generacyjnego systemu wspomagającego planowanie procesów technologicznych, polegający na opracowaniu systemu ekspertowego opartego na regułowo – hierarchicznej reprezentacji wiedzy. Przedstawiono przykłady zastosowania takiego sposobu reprezentacji wiedzy technologicznej do identyfikacji technologicznych obiektów elementarnych oraz parametryzacji operacji obróbkowych.

**Słowa kluczowe:** CAPP, technologia, systemy ekspertowe, struktura hierarchiczna.

## 1. Wprowadzenie

Komputerowo wspomaganie planowanie procesów (*ang. Computer Aided Process Planning*) jest od wielu lat przedmiotem badań naukowych na całym świecie. Wynika to z faktu, że jest to wciąż najsłabiej rozwinięta klasa systemów z grupy CAx. Pierwsze opracowania systemów CAPP dotyczyły tzw. systemów wariantowych, które poprzez wykorzystanie metod technologii grupowej pozwalały adaptować istniejące już procesy technologiczne do nowo rozpatrywanych części. Chronologicznie później przeprowadzono prace rozwojowe zmierzające do budowy generacyjnych systemów CAPP. Z założenia, zadaniem tych systemów, jest opracowanie planu procesu technologicznego części z minimalnym udziałem człowieka, bazując na dokumentacji części, dostępnych zasobach produkcyjnych i wiedzy technologicznej. Podstawowe funkcje realizowane przez generacyjne systemy CAPP obejmują [1]:

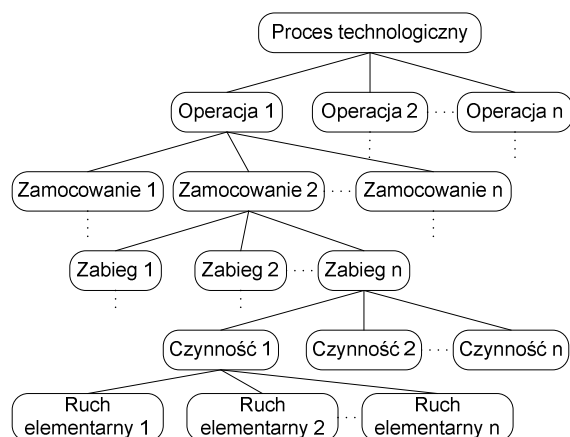
- przetwarzanie dokumentacji konstrukcyjnej, oraz identyfikację technologicznych obiektów elementarnych,
- dobór operacji obróbkowych,
- określenie kolejności operacji obróbkowych,
- szczegółową parametryzację procesu technologicznego.

Inne funkcje wymieniane jako integralne elementy generacyjnych systemów wspomagających opracowanie technologii to generowanie ścieżek narzędzi i programów dla obrabiarek NC.

Opracowano częściowe implementacje funkcjonalne w zakresie budowy generacyjnych systemów CAPP, jednak niektóre z etapów działania tych systemów nadal są przedmiotem prac badawczo – rozwojowych [2, 3, 4]. Obszarem, który nadal wymaga udoskonalenia jest sposób reprezentacji wiedzy w systemach CAPP [1, 5, 6]. Aby system był adaptowalny do zmieniających się warunków, wiedza technologiczna powinna być zapisana w sposób spójny, umożliwiający modyfikację i rozbudowę systemu. W tym zakresie pomocne mogą być systemy ekspertowe.

Znaczącą część decyzji podejmowanych podczas opracowywania procesu technologicznego można zapisać w postaci reguł, znanych z najpopularniejszych – regułowych systemów ekspertowych. Regułowa reprezentacja wiedzy stanowi obok





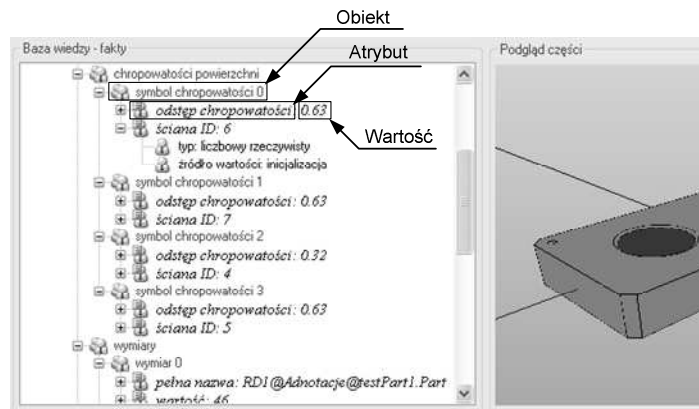
Rys. 2. Struktura hierarchiczna procesu technologicznego

W regułowym systemie ekspertowym wiedza, dotycząca parametrów charakteryzujących proces technologiczny przechowywana jest w postaci faktów, czyli uporządkowanych „trójek”  $\langle O A W \rangle$  -  $\langle$ obiektu, atrybutu, wartości $\rangle$ . Przy czym obiekt nie jest instancją określonej klasy, jak to ma miejsce w reprezentacji obiektowej, jest jedynie identyfikatorem rzeczywistego lub abstrakcyjnego obiektu, analizowanego przez system. Podobnie „dwójka”  $\langle$ atrybut, wartość $\rangle$  może być porównana do zmiennej – atrybut jest unikatową nazwą i posiada określony typ, ograniczający zbiór możliwych wartości. Łączenie atrybutów z obiektami ma miejsce podczas definicji faktu, czyli dodania do bazy wiedzy pełnej trójki  $\langle O A W \rangle$ , np.  $\langle$ część, klasa, dźwignia $\rangle$ . Zbiór faktów przechowywany jest w bazie wiedzy jako lista trójek  $\langle O A W \rangle$ .

Przedstawiony zapis wiedzy w postaci faktów nie umożliwia odzwierciedlenia zależności hierarchicznych typu: rodzic-potomek. Nazwa atrybutu w regułowym systemie ekspertowym musi być unikatowa w skali bazy wiedzy. Uniemożliwia to stosowanie tak samo nazywających się atrybutów, opisujących te same cechy różnych obiektów.

Dlatego na potrzeby reprezentacji wiedzy w generacyjnym systemie *CAPP* autorzy opracowali system ekspertowy, którego baza faktów ma strukturę hierarchiczną. Zarówno obiekty jak i atrybuty mogą być elementami węzłowymi tej struktury z tym, że tylko obiekt może być elementem nadrzędnym – nie posiadającym rodzica (*ang. root*). Każdy obiekt może posiadać dowolną liczbę elementów podrzędnych, zarówno innych obiektów jak i atrybutów. Nazwy elementów muszą być unikatowe tylko dla potomków określonego obiektu. Fragment struktury hierarchicznej faktów opisujących model geometryczny przedstawiono na rys. 3.

W przedstawionej strukturze atrybut *odstęp chropowatości* przechowujący wartość współczynnika  $R_a$  ściany części oraz atrybut *ściana ID*, będący identyfikatorem tej ściany, występują jako elementy potomne czterech obiektów *symbol chropowatości*  $\langle numer \rangle$ . Przy czym, każdy z tych atrybutów reprezentuje cechę innego obiektu nie prowadząc do niejednoznaczności, gdyż pełnym identyfikatorem atrybutu jest nie tylko jego nazwa, ale również lokalizacja w strukturze hierarchicznej.



Rys. 3. Struktura hierarchiczna parametrów części

Zapis wiedzy w postaci faktów jest jednym ze sposobów formalizacji wiedzy w regułowych systemach ekspertowych. Innym rodzajem zapisu wiedzy jest stosowanie reguł. Reguła składa się z konkluzji (wyniku zadziałania reguły) oraz listy warunków określających, kiedy konkluzja jest prawdziwa. Po przeprowadzeniu wnioskowania (sprawdzania warunków reguł) konkluzja zapisywana jest jako fakt w bazie wiedzy.

Przedstawiony sposób przetwarzania wiedzy nie oferuje zadowalającej funkcjonalności, gdy próbuje się go wykorzystać w projektowaniu procesów technologicznych. Pierwszym problemem jest konieczność zdefiniowania każdej, obsługiwanej przez system kombinacji faktów. Dla przykładu reguła, która miałaby parametryzować elementarną operację technologiczną, zostanie wykonana dla dokładnie jednej trójki <O A W> lub kombinacji trójek <O A W>. Jeżeli w bazie wiedzy występuje więcej niż jedna operacja technologiczna, konieczne jest utworzenie odpowiedniej reguły dla każdej z tych operacji. Reguła związana jest dokładnie z jednym atrybutem lub kombinacją atrybutów. Reguła, która zostanie wykonana dla trójki <O A W>, w której atrybut ma nazwę *Operacja 10*, nie zostanie wykonana dla atrybutu o wartości *Operacja 20*. W związku z tym w przedstawianym systemie ekspertowym umożliwiono korzystanie nie bezpośrednio z nazwy atrybutu, a z jego uogólnienia. W powyższym przykładzie dotyczącym atrybutów *Operacja 10*, *Operacja 20*, *Operacja n* zapis ogólny będzie miał postać „*Operacja \**”. Opisywany zabieg umożliwi istotną redukcję liczby reguł w bazie wiedzy. W regułach można korzystać z formy uogólnionej, a reguły z zapisanymi w ten sposób warunkami będą równoważne szeregowi reguł w klasycznym regułowym systemie ekspertowym.

Inną innowacją opracowanego systemu ekspertowego jest możliwość stosowania, zamiast pojedynczych faktów, struktury hierarchicznej w konkluzji reguły. Zastosowana funkcjonalność wynika z potrzeby zapisu większej porcji wiedzy technologicznej w ramach jednej reguły. Regułę tego typu, służącą do parametryzacji operacji obróbki otworów przelotowych w klasie dokładności IT6-IT10, można zapisać w następującej postaci:

*Jeśli istnieje*  
*obiekt otwór przelotowy\* będący potomkiem obiektu TOE*  
*o atrybutach spełniających następujące zależności:*  
 $\text{\textit{średnica}} \geq 1.5$   
 $\text{\textit{głębokość}} / \text{\textit{długość}} \leq 10$

**klasa dokładności  $\leq 10$**   
**klasa dokładności  $\geq 6$**   
 to  
**dodaj do obiektu otwór przelotowy\***  
**obiekt *Wariant procesu*, zawierający:**  
**obiekt *Operacja 1* z atrybutami *Rodzaj = wiercenie i Średnica = 1.4*,**  
**obiekt *Operacja 2* z atrybutami *Rodzaj = rozwiercanie wykańczające i Średnica = 1.5***

Okno definiujące regułę służącą do parametryzacji operacji obróbki otworów przelotowych zaprezentowano na rys. 4.

Rys. 4. Formularz edycji reguły parametryzującej operację obróbkową

Identyfikacja technologicznych obiektów elementarnych (TOE) to następny obszar zastosowań systemów ekspertowych w systemach CAPP. Warunki reguł definiują grupy ścian, ich parametry oraz relacje geometryczne między nimi. Wnioskowanie polega na poszukiwaniu grupy ścian spełniających warunki określone w regule. Konkluzją reguły jest dodanie struktury hierarchicznej opisującej zidentyfikowany obiekt elementarny. Struktura ta zawiera fakty, reprezentujące parametry obiektu elementarnego. Powyższe rozwiązanie

problemu identyfikacji nie jest możliwe przy zastosowaniu popularnych regułowych systemów szkieletowych. Przykład szablonu definicji reguły identyfikującej TOE klasy kieszeń zamknięta pokazano na rys. 5.

Edycja reguły identyfikującej technologiczny obiekt elementarny

nazwa obiektu: Kieszeń zamknięta prosta      liczba ścian: 6

Edycja właściwości ścian

typ powierzchni: planarna

ściana należy do obiektu  
 może posiadać pętle wewnętrzne

Dodaj ścianę

id	powierzchnia	należy do obiektu	pętla wewnętrzna
1	planarna	nie	dozwolone
2	planarna	tak	niedozwolone
3	planarna	tak	niedozwolone
4	planarna	tak	dozwolone
5	planarna	tak	niedozwolone
6	planarna	tak	niedozwolone

Modyfikuj ścianę      Usuń ścianę

Edycja warunków

ściana: ściana3      relacja: wspólna\_krawędź      ściana: ściana4

Dodaj warunek

ściana	relacja	ściana
ściana5	prostopadła_wkłęśta	ściana6
ściana5	prostopadła_wkłęśta	ściana3
ściana2	wspólna_krawędź	ściana4

Modyfikuj warunek      Usuń warunek

Edycja funkcji ścian

standardowa funkcja      ściana: ściana4

standardowa funkcja ściany: ściana podstawy

niestandardowa funkcja: nazwa funkcji

Dodaj cechę ściany

Edycja atrybutów obiektu technologicznego

nazwa: głębokość

wartość liczbowa  
 wartość tekstowa

cecha ściany      dystans:      cecha:      ściana:      cecha:      relacja między ścianami:      dystans:      ściana1:      ściana2:      ściana1:      ściana4:      ściana2:

Dodaj atrybut

Dodaj definicję obiektu      Anuluj      Pomoc

Rys. 5. Szablon definiowania reguły identyfikującej technologiczny obiekt elementarny klasy „kieszeń zamknięta”

Kolejnym problemem decyzyjnym, którego zrealizowanie wymaga dedykowanej klasy reguł, jest określenie kolejności operacji obróbkowych. Zakładając hierarchiczną strukturę baz wiedzy systemu CAPP, zadanie to polega na przemieszczaniu obiektów reprezentujących poszczególne TOE przed lub za inne obiekty w obrębie tego samego rodzica. Dlatego autorzy opracowali klasę reguł sortujących, których konkluzją nie jest dodanie faktu, lecz tylko zmiana położenia obiektu reprezentującego operację obróbkową. Przykład takiej reguły, wymuszającej obróbkę obiektu zawierającego ścianę będącą bazą do obróbki innego obiektu przed tym obiektem, przedstawiono dalej:

*Jeśli istnieją  
dwa obiekty \* będące potomkami obiektu TOE,  
takie, że obiekt1.ściana baza ID == obiekt2.ściana \* ID*

*To  
przesuń obiekt2 przed obiekt1*

Przykład szablonu definicji reguły sortującej operacje technologiczne przedstawiono na rys. 6.

atrybut	relacja	atrybut	akcja
ściana baza ID	=	ściana * ID	przed

Rys. 6. Szablon definiowania reguły zmieniającej kolejność obróbki TOE

Nie istnieje możliwość otrzymania optymalnej sekwencji operacji obróbkowych wyłącznie w oparciu o przetwarzanie reguł. Dlatego tak ustalona sekwencja operacji może być poddawana dalszym procesom optymalizacji z wykorzystaniem np. algorytmów genetycznych.

### 3. Podsumowanie

Regułowa reprezentacja wiedzy mimo swoich ograniczeń, wciąż stanowi popularną i intuicyjną metodę zapisu wiedzy eksperckiej. W artykule zaprezentowano hierarchiczno – regułowy sposób przetwarzania wiedzy w dedykowanym do zastosowań technologicznych systemie ekspertowym. Opracowany system ekspertowy, będący częścią opracowywanego systemu *CAPP*, umożliwi akwizycję wiedzy technologicznej i wykorzystanie jej w planowaniu technologicznym. Omawiany system ekspertowy wspiera najistotniejsze etapy działania systemu *CAPP*, odpowiedzialne za identyfikowanie technologicznych obiektów elementarnych oraz dobór i sekwencjonowanie operacji obróbkowych.

## Literatura

1. Sang C. Park: Knowledge capturing methodology in process planning. Computer Aided Design, pp. 1109-1117, 2003.
2. Krot K., Chlebus E.: Aplikacja parametrycznych danych modeli CAD 3D w planowaniu procesów wytwarzania. Cz. 2, Mechanik, nr 7/2007, str. 586-589.
3. Krot K., Kuliberda M.: Metody integracji systemów CAD i CAPP. Przegląd Mechaniczny, nr 7-8 2008, str. 47-50.
4. Baier A.: Metody integracji procesów konstruowania i wytwarzania funkcyjnych zespołów maszyn z zastosowaniem złożonych obiektów elementarnych. Zeszyt Naukowy Politechniki Śląskiej, Gliwice, 2006.
5. Xionghui Zhou, Yanjie Qiu, Guangru Hua, Huifeng Wang, Xueyu Ruan: A feasible approach to the integration of CAD and CAPP. Computer-Aided Design, Elsevier, pp. 324-338, 2007.
6. Knosala R. i Zespół: Zastosowania metod sztucznej inteligencji w inżynierii produkcji. Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa, 2002.

Prof. dr hab. inż. Edward CHLEBUS

Dr inż. Kamil KROT

Mgr inż. Michał KULIBERDA

Instytut Technologii Maszyn i Automatykacji

Politechnika Wrocławska

50-371 Wrocław, ul. Ignacego Łukasiewicza 5

tel./fax.: (0-71) 320 27 05/ (0-71) 328 06 70

e-mail: kamil.krot@pwr.wroc.pl

michal.kuliberda@pwr.wroc.pl