

Politechnika Śląska  
Wydział Mechaniczny Technologiczny  
Katedra Podstaw Konstrukcji Maszyn

**Marek Wyleżoł**

**Metody pozyskiwania  
procedur i relacji  
diagnostycznych  
od specjalistów  
w dziedzinie  
eksploatacji maszyn**

Gliwice 2000

Recenzenci

Prof. dr hab. inż. Zbigniew Dąbrowski

Prof. dr hab. inż. Wojciech Cholewa

Redaktor Zeszytów

Wojciech Cholewa

Redaktor językowy

Ewa Opoka

Redaktor techniczny

Marek Wyleżoł

Projekt okładki

Wojciech Cholewa, Marek Wyleżoł

**ISBN 83–906533–0–3**

Wydawca

Katedra Podstaw Konstrukcji Maszyn

Wydział Mechaniczny Technologiczny

Politechnika Śląska

ul. Konarskiego 18a, 44-100 Gliwice

tel. (32) 237-14-67, fax (32) 237-13-60

<http://kpkm.mt.polsl.gliwice.pl>

---

Druk i oprawa (z dostarczonych materiałów)

Drukarnia cyfrowa D&D sp. z o.o. ul. Moniuszki 6, 44-100 Gliwice

Seria Zeszytów została zapoczątkowana przez profesora Janusza Dietrycha w 1963 roku. W Katedrze Ogólnych Podstaw Konstrukcji Maszyn wydano 34 zeszyty. W roku 1971 w wyniku połączenia Katedry Ogólnych Podstaw Konstrukcji Maszyn, Katedry Mechaniki Technicznej oraz Katedry Dźwignic i Urządzeń Transportowych powstał Międzywydziałowy Instytut Mechaniki i Podstaw Konstrukcji Maszyn, który okresowo (lata 1974-1981) nosił nazwę Instytutu Podstaw Konstrukcji Maszyn, a w roku 1981 został przyłączony do Wydziału Mechanicznego Technologicznego. W Instytucie wydano zeszyty od nr. 35 do nr. 114. W roku 1991 nastąpił podział Instytutu na katedry. W wyniku podziału utworzono między innymi Katedrę Podstaw Konstrukcji Maszyn.

Niniejsza praca wznawia serię Zeszytów, które będą obejmować zagadnienia związane z kierunkami badań prowadzonych w Katedrze Podstaw Konstrukcji Maszyn.

*Gliwice, grudzień 2000*

*Wojciech Cholewa*  
*Kierownik Katedry Podstaw Konstrukcji Maszyn*



# Od autora

Zeszyt opracowałem na podstawie mojej pracy doktorskiej, wykonanej pod kierunkiem dr. hab. Wojciecha Moczulskiego, prof. Pol. Śl., którą obroniłem 11 lipca 2000 roku przed Komisją powołaną przez Radę Wydziału Mechanicznego Technologicznego. W opracowaniu zostały uwzględnione uwagi recenzentów pracy doktorskiej: prof. dr. hab. inż. Zbigniewa Dąbrowskiego i prof. dr. hab. inż. Wojciecha Cholewy.

Za wszystkie cenne uwagi serdecznie dziękuję. Pozwoliły one na wydanie niniejszego zeszytu w postaci pozbawionej tych błędów, których nie ustrzegłem się podczas pisania pracy doktorskiej.

Powstanie tej pracy nie byłoby możliwe bez pomocy i współudziału wielu osób. Ich pomoc i pozytywne nastawienie pomogły mi znacząco zarówno w moich badaniach naukowych, jak i w wykonywaniu powinności pracownika Katedry Podstaw Konstrukcji Maszyn. Dlatego też chciałbym wyrazić swoją szczególną wdzięczność dr. hab. Wojciechowi Moczulskiemu prof. Pol. Śl., dr. inż. Markowi Kurowiczowi, dr. inż. Bogdanowi Wysogładowi, dr. inż. Adamowi Klimkowi, mgr. inż. Krzysztofowi Ciupke, mgr. inż. Krzysztofowi Psiukowi, mgr. inż. Mariuszowi Kufce oraz wszystkim Koleżankom i Kolegom z Katedry Podstaw Konstrukcji Maszyn za okazaną mi życzliwość i pomoc podczas wykonywania pracy.

*Gliwice, grudzień 2000*

*Marek Wylezół*



# Spis treści

<b>1</b>	<b>Wstęp</b>	<b>13</b>
<b>2</b>	<b>Opis problemu badawczego</b>	<b>19</b>
2.1	Specyficzne cechy wiedzy w diagnostyce maszyn . . . . .	19
2.2	Przegląd metod pozyskiwania wiedzy od specjalistów . . . . .	24
2.3	Problem badawczy . . . . .	29
2.4	Cel rozprawy . . . . .	30
2.5	Tezy . . . . .	30
<b>3</b>	<b>Przedmiot badań</b>	<b>31</b>
3.1	Proces pozyskiwania wiedzy diagnostycznej od specjalistów . . . .	31
3.1.1	Charakterystyka uczestników procesu pozyskiwania wiedzy	34
3.1.2	Typowe problemy związane z procesem pozyskiwania wiedzy od specjalistów . . . . .	42
3.2	Reprezentacja wiedzy w diagnostyce maszyn . . . . .	43
<b>4</b>	<b>Metody pozyskiwania wiedzy od specjalistów</b>	<b>47</b>
4.1	Pozyskiwanie procedur diagnostycznych . . . . .	47
4.1.1	Założenia . . . . .	48
4.1.2	Reprezentacja wiedzy za pomocą wielowarstwowych sche- matów blokowych . . . . .	49
4.1.3	Stadium I — pozyskiwanie procedur od specjalistów . . . .	55
4.1.4	Stadium II — łączenie pozyskanych procedur . . . . .	55
4.2	Pozyskiwanie reguł z zastosowaniem formularza elektronicznego”	57
4.2.1	Założenia . . . . .	57
4.2.2	Sposób reprezentacji reguł empirycznych . . . . .	57
4.2.3	Stadium I — pozyskiwanie reguł od specjalistów . . . . .	60

4.2.4	Stadium II — ocenianie reguł przez specjalistów . . . . .	62
<b>5</b>	<b>Środki wspomagania procesu pozyskiwania wiedzy</b>	<b>71</b>
5.1	Baza danych i wiedzy do reprezentacji wielowarstwowych schematów blokowych . . . . .	71
5.2	Edytor wielowarstwowych schematów blokowych <i>PDWP</i> . . . . .	72
5.2.1	Istota rozwiązania . . . . .	72
5.2.2	Ogólny opis programu <i>PDWP</i> . . . . .	72
5.2.3	Opis sposobu komunikacji pomiędzy programem a użytkownikiem . . . . .	73
5.2.4	Ogólny opis działań realizowanych za pomocą programu . . . . .	73
5.3	„Formularz elektroniczny” . . . . .	76
5.3.1	Istota rozwiązania . . . . .	76
5.3.2	Opis ogólny programu <i>EMPREG 2</i> . . . . .	77
5.3.3	Opis sposobu komunikacji pomiędzy programem a użytkownikiem . . . . .	77
5.3.4	Ogólny opis działań realizowanych za pomocą programu . . . . .	78
<b>6</b>	<b>Weryfikacja metod i środków pozyskiwania wiedzy</b>	<b>83</b>
6.1	Weryfikacja metod pozyskiwania wiedzy od specjalistów . . . . .	84
6.1.1	Weryfikacja metody pozyskiwania wiedzy proceduralnej . . . . .	84
6.1.2	Weryfikacja metody pozyskiwania wiedzy deklaratywnej . . . . .	86
6.2	Weryfikacja środków wspomagania procesu pozyskiwania wiedzy . . . . .	89
6.2.1	Weryfikacja środków wspomagania procesu pozyskiwania wiedzy proceduralnej . . . . .	89
6.2.2	Przykłady weryfikacji metod i środków pozyskiwania wiedzy proceduralnej . . . . .	90
6.2.3	Weryfikacja środków wspomagania procesu pozyskiwania wiedzy deklaratywnej . . . . .	97
6.2.4	Przykłady weryfikacji metod i środków pozyskiwania wiedzy deklaratywnej . . . . .	99
6.3	Podsumowanie przeprowadzonych badań i wnioski . . . . .	104
<b>7</b>	<b>Podsumowanie i wnioski</b>	<b>107</b>
<b>A</b>	<b>Baza wiedzy i danych <i>EMPREL-PDWP</i></b>	<b>111</b>
A.1	Struktura bazy . . . . .	111



---

A.2 Formularze do zapisu wielowarstwowych schematów blokowych . .	120
<b>B Formułowanie procedury z użyciem programu <i>PDWP</i></b>	<b>123</b>
<b>C Formułowanie i ocenianie reguł empirycznych</b>	<b>127</b>
<b>Spis literatury</b>	<b>133</b>
<b>Streszczenie</b>	<b>142</b>



# Wykaz ważniejszych oznaczeń

$a$	atrybut
$A(C_o)$	zbiór atrybutów
$B_{ex}(r)$	wartość stopnia przekonania przypisana regule przez oceniającego ją specjalistę
$C_o, C_k$	klasy obiektów
$D(r)$	dziedzina reguły,
$k$	liczba wystąpień danej wartości $NP(r)$
$NP(r)$	stopień przekonania o słuszności reguły
$o$	obiekt
$p(o)$	przesłanka reguły
$q(o)$	konkluzja reguły
$sp$	stopień pewności
$N(r)$	miara stopnia konieczności
$P(r)$	miara stopnia możliwości
$NP_{ag}(r)$	operator agregacji
$w$	wartość atrybutu
$w_{ex}$	waga przypisywana opiniom danej osoby
$w(r)$	waga przypisana stopniowi przekonania reguły w bazie wiedzy
$w_{(n,k)}$	częstość wystąpień danej oceny
$NP_{agos}(r)$	operator agregacji ocen specjalisty
$v$	stopień pewności
$V(a)$	zbiór wartości
$\Delta t$	przedział czasu
$\propto$	operator relacji



# Rozdział 1

## Wstęp

Efektywna realizacja niektórych zadań diagnostyki maszyn jest często możliwa jedynie dzięki użyciu techniki komputerowej. Niektóre zadania diagnostyki maszyn dotyczą prowadzenia stałego nadzoru (monitorowania) stanu technicznego maszyn, określanych jako maszyny krytyczne” (np. [Łączkowski, 1983], [Przybysz, 1991]). Głównym celem tych zadań jest — zwykle okresowe — dokonywanie pomiarów wartości wybranych cech sygnałów diagnostycznych oraz gromadzenie tak uzyskanych danych, które mogą stanowić symptomy aktualnego stanu technicznego maszyny. Na podstawie takich danych specjaliści-diagności są w stanie wnioskować o stanie technicznym tej maszyny, a następnie podejmować właściwe decyzje, dotyczące jej dalszej eksploatacji. Jednak ludzkie możliwości w zakresie efektywnego przetwarzania danych (a szczególnie licznych zbiorów danych) są znacznie ograniczone. Dlatego też coraz częściej do tego celu są stosowane specjalizowane programy komputerowe, zwane *systemami doradczymi* [Buchanan *et al.*, 1983], [Hayes-Roth *et al.*, 1983], [Cholewa, Pedrycz, 1987], [Parsaye, Chignell, 1988], [Bubnicki, 1990], [Jackson, 1990].

Jednym z podstawowych elementów systemów doradczych są bazy wiedzy [Addis, 1985], [Buchanan *et al.*, 1983], [Cholewa, Pedrycz, 1987]. W nich gromadzone są odpowiednio zakodowane zapisy reprezentujące wiedzę (w tym przypadku wiedzę diagnostyczną). Zawartość baz wiedzy w zasadniczy sposób determinuje jakość działania systemu doradczego, a zwłaszcza poprawność osiąganych przez niego wniosków [Moczulski, 1997]. Aby jednak takie bazy mogły powstać, musi zostać wykonanych wiele działań związanych z identyfikacją źródeł wiedzy oraz z pozyskaniem i przetworzeniem wiedzy.

Jednym z możliwych źródeł wiedzy jest wspomniany już specjalista-diagnosta

(dalej nazywany specjalistą). Ze względu na posiadane praktyczne doświadczenie oraz zasób wiedzy specjalisty, celowe jest pozyskiwanie jego wiedzy dla baz wiedzy diagnostycznych systemów doradczych. Obecnie tworzone są w Polsce diagnostyczne systemy doradcze stosowane do nadzoru maszyn krytycznych [Kiciński, Cholewa, 1998], [Pieczyński, 1999]. Istnieje więc realna potrzeba pozyskiwania wiedzy dla tych systemów, a zatem również potrzeba rozwijania skutecznych metod pozyskiwania wiedzy od specjalistów. Należy nadmienić, że wiedza diagnostyczna stanowi najcenniejszą część systemu doradczego i jej nabycie jest bardzo kosztowne, jednak dzięki istniejącemu w Polsce potencjałowi specjalistów z dziedziny diagnostyki technicznej (a w szczególności diagnostyki maszyn wirnikowych) — realizacja procesu pozyskiwania wiedzy od specjalistów jest możliwa.

Praca stanowi kontynuację badań dotyczących zastosowania metod i technik sztucznej inteligencji w diagnostyce maszyn — w szczególności zaś metod pozyskiwania wiedzy diagnostycznej — zapoczątkowanych i kontynuowanych w Katedrze Podstaw Konstrukcji Maszyn przez prof. dr. hab. W. Cholewę i dr. hab. W. Moczulskiego. W ramach tych badań zajmowano się m.in. rozwojem systemów doradczych [Cholewa, Czogała, 1989], [Cholewa, Moczulski, 1990], [Cholewa, Moczulski, 1990a], [Cholewa, 1993], [Moczulski, 1994a]. W szczególności wprowadzono dynamiczne systemy doradcze [Cholewa, 1997] oraz zaproponowano sposób reprezentacji wiedzy w postaci sieci stwierdzeń dynamicznych [Cholewa, 1997].

Wstępne badania nad pozyskiwaniem wiedzy od specjalistów dotyczyły relacji diagnostycznych, reprezentowanych w postaci reguł [Moczulski, 1994], [Puzoń, Moczulski, 1996], [Moczulski, Wyleżoł, 1997], [Moczulski *et al.*, 1997a].

Podjęto również badania nad pozyskiwaniem wiedzy diagnostycznej metodami indukcyjnymi z zastosowaniem uczenia maszynowego [Maniak, Moczulski, 1997], [Moczulski, Maniak, 1997], [Moczulski, Kostka, 1997].

Zainicjowano także prace dotyczące pozyskiwania wiedzy diagnostycznej metodami odkrywania (uczenia bez nauczyciela) [Moczulski, Żytkow, 1997].

Równolegle prowadzono badania związane z identyfikacją odwrotnych modeli diagnostycznych [Cholewa, Kiciński, 1997] oraz metodami ich doskonalenia [Klimek, 1999]. Modele odwrotne reprezentują złożone relacje diagnostyczne i mogą być stosowane do określenia zbioru reguł wnioskowania w diagnostycznych systemach doradczych [Cholewa, Kiciński, 1997].

Praca dotyczy głównie procesu pozyskiwania wiedzy od specjalistów z dziedziny diagnostyki technicznej, dlatego też wymaga wyjaśnienia terminu *wiedza*,

w kontekście obecnej pracy i w rozumieniu autora. Pojęcie wiedzy jest trudne do jednoznacznego zdefiniowania. W życiu codziennym spotykamy się z różnymi rodzajami wiedzy: obiektywną, hipotetyczną, zdroworozsądkową<sup>1</sup>, subiektywną czy prawdopodobną [Smok, 1994a]. Dla potrzeb dalszych rozważań przyjęto<sup>1</sup>, że wiedza człowieka jest zbiorem pożądaných i uświadomionych subiektywnie informacji. Jeśli zaś chodzi o wiedzę specjalisty-diagnosty — wymaga ona osobnego wyjaśnienia. Wiedza, jaką posiada taki człowiek dotyczy obiektów (np. maszyn i ich zespołów) i klas obiektów (...), ich własności i właściwości, związków pomiędzy obiektami i pomiędzy klasami obiektów, obejmuje także umiejętności, zrozumienie praw ogólnych, procedury postępowania diagnostycznego itp.” [Moczulski, 1997]. Jest to więc wiedza bardzo szczegółowa i zwykle zawężona do przestrzeni zainteresowania danego specjalisty. Charakterystycznymi cechami wiedzy diagnostycznej są: częsta jej niejednoznaczność, niepełność i podleganie stałemu rozwojowi. Przyswojenie takiej wiedzy przez specjalistę może nastąpić poprzez uczenie się — rozumiane jako np. studiowanie czy udział w kursach i szkoleniach, jak również nabywanie doświadczenia i umiejętności poprzez długotrwałą aktywność zawodową. O ile uczenie się (specjalisty) zwykle następuje z pomocą ogólnie rozumianego nauczyciela i obejmuje głównie tylko przyswojenie już istniejącej wiedzy, to nabywanie wiedzy poprzez doświadczenie jest już procesem bardziej podobnym do indywidualnego odkrywania nowej wiedzy. Tak więc w dalszej części pracy termin *wiedza* będzie oznaczał zarówno wiedzę mającą podstawy teoretyczne, jak i praktyczne doświadczenie specjalisty.

W pracy zajmowano się przede wszystkim zagadnieniami związanymi z opracowaniem metod wspomagania procesu pozyskiwania wiedzy diagnostycznej od specjalistów. Pozyskiwanie wiedzy od specjalistów wiąże się z problemem bezpośredniej współpracy *inżyniera wiedzy*<sup>2</sup> ze specjalistą lub grupą specjalistów. Zamiarem autora było ułatwienie i przyspieszenie procesu pozyskiwania wiedzy od specjalistów, możliwe dzięki zaproponowanym metodom. Dotychczas inżynier wiedzy, jak i specjalista, zwykle musieli ściśle ze sobą współpracować. Intencją autora było znaczne ograniczenie roli inżyniera wiedzy. Aby było to możliwe, zaproponowano użycie do tego celu m.in. specjalnie zaprojektowanych programów komputerowych. Dzięki nim specjalista — po odpowiednim przeszkoleniu — może

---

<sup>1</sup>Sposób rozumienia tego terminu został ukształtowany poprzez lekturę pozycji [Ajdukiewicz, 1960], [Dierych, 1985], [Moczulski, 1997].

<sup>2</sup>Termin ten jest dosłownym tłumaczeniem angielskiego zwrotu *knowledge engineer*. W pracy [Moczulski, 1997] został użyty termin *programista baz wiedzy*.

samodzielnie dokonywać zapisów, reprezentujących posiadaną przez niego wiedzę w bazie wiedzy. Przy tym zakłada się, że człowiek taki ma podstawową wiedzę dotyczącą obsługi komputera. Rola inżyniera wiedzy sprowadza się w tym wypadku do takich działań, jak m.in.: ogólne zapoznanie się z dziedziną, o której wiedza będzie pozyskiwana, działania związane z łączeniem wiedzy pozyskanej od kilku specjalistów oraz szeroko rozumiana pielęgnacja bazy wiedzy.

Główna treść pracy została zawarta w czterech rozdziałach (rozdziały 3., 4., 5. i 6.). W rozdziałach tych skupiono się na zagadnieniach związanych z przedstawieniem głównych pojęć stosowanych w pracy, opisie zastosowanych metod i środków, a także opisie przebiegu badań i otrzymanych wyników. Praca zawiera trzy rozdziały dodatkowe:

- wstęp (rozdział 1.) stanowiący wprowadzenie do problematyki pracy,
- rozdział 2. zawierający poglądowy opis specyfiki wiedzy diagnostycznej, przegląd istniejącego stanu wiedzy dotyczącego metod pozyskiwania wiedzy, sformułowany problem badawczy oraz cel i tezy pracy,
- rozdział 7., w którym zamieszczono wnioski oraz uwagi autora wypływające z przeprowadzonych badań.

W rozdziale 3. przedstawiono wstępny opis przedmiotu badań oraz najważniejsze pojęcia i terminy, stosowane w dalszej treści pracy. Scharakteryzowano przebieg procesu pozyskiwania wiedzy diagnostycznej od specjalistów wraz z krótkim opisem możliwych modeli tego procesu. Scharakteryzowano również uczestników procesu pozyskiwania wiedzy: *konstruktora systemu doradczego, specjalistę* oraz wspomnianego już *inżyniera wiedzy*.

W rozdziale 4. opisano opracowane przez autora metody pozyskiwania wiedzy od specjalistów. W szczególności omówiono zastosowane przez autora sposoby pozyskiwania wiedzy deklaratywnej i opracowane przez autora sposoby pozyskiwania wiedzy proceduralnej oraz łączenia wiedzy pozyskanej od wielu specjalistów. Opisano środki reprezentacji wiedzy, możliwe do zastosowania na użytek opracowanych metod pozyskiwania wiedzy. Szczegółowo opisano wybrane *środki reprezentacji wiedzy deklaratywnej* oraz *środki reprezentacji wiedzy proceduralnej*. Osobno przedstawiono problem oceny pozyskanej wiedzy, z uwzględnieniem agregacji opinii wielu specjalistów oceniających jej prawdziwość.

Rozdział 5. zawiera opis zastosowanych środków wspomagających proces pozyskiwania wiedzy od specjalistów z uwzględnieniem tych środków, jakie zostały



zaproponowane przez autora i następnie użyte do prowadzenia badań. Przedstawiono aplikacje komputerowe opracowane i zastosowane przez autora. Zwrócono uwagę na tzw. „przyjazność” tych środków, w kontekście ich użycia przez ludzi posiadających podstawową wiedzę o posługiwaniu się komputerem. Omówiono też problematykę optymalnego wyboru specjalistów oraz indywidualnego zaznajomienia danego specjalisty ze środkami wspomagającymi proces pozyskiwania wiedzy.

Opis przebiegu badań weryfikacyjnych opracowanych metod i środków pozyskiwania wiedzy zamieszczono w rozdziale 6.

Poza tym praca zawiera trzy dodatki. W dodatku A zamieszczono szczegółowy opis bazy wiedzy i danych *EMPREL-PDWP*. Dodatek B zawiera przykład formułowania procedury diagnostycznej z użyciem programu *PDWP*. W dodatku C przedstawiono przykład formułowania reguły empirycznej z użyciem programu *EMPREG 2*. W dodatkach B i C zwrócono szczególnie uwagę na opis działań, wykonywanych przez użytkowników wspomnianych programów.

Badania autora w zakresie pozyskiwania wiedzy dla potrzeb diagnostyki maszyn zostały zapoczątkowane pod kierunkiem dr. hab. Wojciecha Moczulskiego. Duży wpływ na zrozumienie problemów związanych z problematyką systemów doradczych oraz pozyskiwania wiedzy miały prace prof. dr. hab. inż. Wojciecha Cholewy. Niniejsza praca jest wynikiem badań autora przeprowadzonych w Katedrze Podstaw Konstrukcji Maszyn Politechniki Śląskiej. Część zadań została wykonana w ramach projektów badawczych KBN nr 8T11F 020 09 „Aktywizacja wiedzy dla potrzeb diagnostyki technicznej” oraz KBN nr 7 T07B046 16 „Sformalizowane metody pozyskiwania wiedzy w diagnostyce maszyn”.



# Rozdział 2

## Opis problemu badawczego

Rozdział rozpoczyna opis specyficznych cech wiedzy diagnostycznej. Następnie zamieszczono krótki przegląd metod<sup>1</sup> pozyskiwania wiedzy od specjalistów. Niektóre z przedstawionych sposobów pozyskiwania wiedzy dziś już są rzadko stosowane lub też mają znaczenie historyczne. Inne — dzięki rozwojowi środków audio-wizualnych — rozwinęły się i często podlegały istotnym zmianom. Dzięki zaś rozwojowi metod i środków programowania komputerów powstały metody komputerowego wspomaganie procesu pozyskiwania wiedzy.

W dalszej części rozdziału przedstawiono opis zadania badawczego oraz cel pracy i jej tezy.

### 2.1 Specyficzne cechy wiedzy w diagnostyce maszyn

Celem diagnostyki maszyn jest ocenianie stanu maszyn. Stan maszyny jest zbiorem własności przysługujących jej w danej chwili, koniecznych i wystarczających do zidentyfikowania jej w tej chwili [Cholewa, Moczulski, 1993]. Stan techniczny danej maszyny oceniany jest na podstawie zgromadzonych *symptomów diagnostycznych* (czyli wartości cech sygnałów diagnostycznych) oraz (często niepełnych) *cech wejścia maszyny* (przede wszystkim jej warunków działania) [Moczulski, 1997]. Tak sformułowane w sposób ogólny zadanie diagnostyki można podzielić na następujące podzadania [Cempel, 1985]:

---

<sup>1</sup>Metoda — racjonalny sposób działania myślowego, a więc działania na abstrakcjach. O istnieniu metody można twierdzić, gdy istnieją reguły postępowania lub opis działania, świadome ich stosowanie, zdyscyplinowane podporządkowanie regułom, opis sytuacji, w której osiągnięcie celu jest odpowiednio prawdopodobne [Dietrych, 1985].

- *diagnoza*, polegająca na określeniu bieżącego stanu technicznego maszyny, na podstawie zgromadzonych informacji o danej maszynie, np. wskutek prowadzenia ciągłej obserwacji jej działania (*monitorowanie*);
- *geneza*, czyli określanie przyczyn zaistnienia obecnego stanu technicznego. Poprawne określenie stanu maszyny musi uwzględniać m.in. cechy warunków działania maszyny;
- *prognoza*, której zadaniem jest określenie horyzontu czasowego przyszłej zmiany stanu technicznego wraz z określeniem prawdopodobnego jakościowego i ilościowego kierunku” tej zmiany.

Do realizacji tak postawionego zadania diagnostyki maszyn wymagana jest stosowna *wiedza diagnostyczna*. Na s. 14 przytoczono znaczenie terminów *wiedza* oraz *wiedza specjalisty-diagnosty*. Wiedzę diagnostyczną, wymaganą dla dokonywania ocen stanu technicznego maszyny, można podzielić na wiedzę podstawową i wiedzę operacyjną” [Moczulski, 1997].

Wiedza podstawowa obejmuje:

- wiedzę o obiekcie badań,
- wiedzę o sygnałach i symptomach.

Wiedza o obiekcie diagnozowania<sup>2</sup> obejmuje problematykę z dziedziny projektowania, wytwarzania i eksploatacji obiektu.

Wiedza o sygnałach diagnostycznych i symptomach stanu technicznego diagnozowanego obiektu obejmuje zarówno sygnały związane z działaniem obiektu (w tym procesy resztkowe [Cempel, 1985]), jak i sygnały generowane w sztucznie wymuszonym stanie (np. podczas prowadzenia eksperymentu czynnego [Cempel, 1985]).

Wiedza operacyjna” jest stosowana w procesie wnioskowania lub rozumowania diagnostycznego. Dotyczy relacji diagnostycznych [Moczulski, 1997] i może być reprezentowana np. za pomocą reguł, drzew decyzyjnych, tablic decyzyjnych itp.

Uzyskanie poprawnej diagnozy dotyczącej oceny stanu technicznego maszyny (lub klasy stanu) lub ustalenia przyczyn jej aktualnego stanu jest możliwe w wyniku przeprowadzenia *badań diagnostycznych*. Polegają one na wykonaniu następujących czynności (zadań), ujętych w planie badań diagnostycznych:

---

<sup>2</sup>W tym wiedza w postaci stwierdzeń o faktach dotyczących tego obiektu oraz o istniejących relacjach między nimi; a więc wiedza o charakterze deklaratywnym.

1. identyfikacja potrzeby,
2. identyfikacja podstawowych własności i właściwości badanego obiektu,
3. przeprowadzenie eksperymentu diagnostycznego [Cempel, 1985],
4. obserwacja i rejestracja sygnałów diagnostycznych [Cempel, 1985], [Cholewa, Moczulski, 1993],
5. przetwarzanie sygnałów [Cempel, 1985], [Cholewa, Moczulski, 1993],
6. selekcja cech sygnałów [Sobczak, Malina, 1985],
7. redukcja ilości informacji [Chmielewski, Grzymała-Busse, 1992], [Sobczak, Malina, 1985],
8. wnioskowanie diagnostyczne [Cempel, 1985], [Cholewa, Moczulski, 1993].

Poniżej skrótowo omówione zostaną wyszczególnione kroki postępowania przy badaniach diagnostycznych.

Ad. 1

Identyfikacja potrzeby obejmuje zdefiniowanie celu przeprowadzenia planowanych badań. Może nim być np. określenie aktualnego stanu technicznego maszyny w celu wyznaczenia przyczyn wystąpienia takiego stanu.

Ad. 2

Identyfikacja podstawowych własności i właściwości badanego obiektu obejmuje m.in.:

- zapoznanie się z jego konstrukcją,
- zapoznanie się z jego parametrami eksploatacyjnymi,
- zapoznanie się z jego warunkami działania,
- zapoznanie się z historią obiektu (tj. informacje o byłych awariach i uszkodzeniach, informacje o prowadzonych remontach, modernizacjach itp.).

Ad. 3.

Celem eksperymentu diagnostycznego jest [Cempel, 1985]:

- dyskryminacja cech (symptomów) stanu,
- rozpoznanie stanu,

- dyskryminacja sygnałów będących najlepszymi nośnikami informacji diagnostycznej.

Można wyróżnić trzy typy eksperymentu diagnostycznego [Cempel, 1985]:

- *eksperyment czynny*, podczas którego możliwa jest zmiana cech stanu technicznego maszyny oraz prowadzenie obserwacji symptomów tego stanu,
- *eksperyment czynno-bierny*, w którym nie ma możliwości zmian wartości cech stanu, natomiast dysponuje się informacją o punktowych wartościach tych cech, np. przy uruchamianiu nowej maszyny, zatrzymaniu jej do remontu itp. Obserwuje się natomiast w sposób ciągły lub dyskretny symptomy stanu.
- *eksperyment bierny*, polegający na obserwacji symptomów stanu bez ilościowej informacji o cechach stanu. Dostępne są wtedy jedynie informacje o *klasach stanu*, w jakich znajduje się maszyna, np. zdatny lub niezdatny.

Ad. 4

Obserwacja i rejestracja sygnałów diagnostycznych jest realizowana z zastosowaniem odpowiednich torów pomiarowych. Obserwacja sygnałów diagnostycznych świadczących o stanie technicznym maszyny i jego zmianach jest możliwa w sposób następujący [Żółtowski, 1996]:

- metodami organoleptycznymi,
- za pomocą urządzeń sterująco-diagnostycznych wchodzących w skład danej maszyny,
- za pomocą zewnętrznych urządzeń diagnostycznych.

Wybór technik pomiarowych i stosowanych do tego środków technicznych jest uzależniony od rodzaju diagnozowanego obiektu, mierzonych cech sygnałów itd.

Ad. 5

Przetwarzanie sygnałów jest działaniem na zaobserwowanych i zarejestrowanych sygnałach. Przetwarzanie to można podzielić na następujące grupy:

- *przetwarzanie wstępne*: filtrowanie sygnału analogowego, przetwarzanie analogowo-cyfrowe, klasyfikacja sygnału,
- *analiza zasadnicza* i estymacja cech sygnałów w dziedzinach czasu, częstotliwości i modalnej.

Ad. 6

W wyniku przeprowadzenia *analizy sygnału* otrzymujemy zbiór cech sygnału. Cechy sygnału stanowią jego opis (ocenę) [Cholewa, Moczulski, 1993]. Nie wszystkie jednak cechy wybranych sygnałów są jednakowo ważne i przydatne. Dlatego też należy wykonać selekcję (ograniczenie liczby) cech sygnału. Jej celem jest otrzymanie zbioru takich cech sygnału, które dostarczają maksymalnej ilości interesujących nas informacji o badanym obiekcie.

Ad. 7

Wartości cech sygnałów są nośnikiem informacji o badanym obiekcie. Zgromadzone cechy sygnałów często mają charakter ilościowy, jednak zastosowanie wszystkich zgromadzonych cech sygnałów i ich wartości do procesu wnioskowania diagnostycznego jest utrudnione. Powodem tego jest (zwykle) duża liczba cech oraz wartości tych cech. Dlatego też możliwym działaniem zmierzającym do redukcji ilości informacji (ale bez jej utraty) jest zastosowanie odpowiedniej dyskretyzacji [Chmielewski, Grzymała-Busse, 1992] lub kodowania symbolicznego cech o wartościach ilościowych [Sobczak, Malina, 1985].

Ad. 8

Wnioskowanie diagnostyczne jest działaniem na informacji. Warunkiem koniecznym skutecznego wnioskowania jest posiadanie odpowiedniej wiedzy [Moczulski, 1997]. Wnioskowanie jest głównym etapem wypracowywania decyzji w procesie diagnozowania i jest oparte na przyjętym modelu<sup>3</sup> diagnostycznym, pozwalającym na jawne lub niejawne odwzorowanie relacji między cechami stanu technicznego (symptomami) i cechami stanu maszyny<sup>4</sup>. Podjęcie decyzji o stanie jest możliwe wtedy, jeśli znamy model diagnostyczny obiektu mechanicznego [Cempel, 1985].

Wnioskowanie diagnostyczne może przebiegać zgodnie z takimi modelami diagnostycznymi, jak:

- modele regresyjne [Cempel, 1985], [Łączkowski, 1983], [Żółtowski, 1996],
- modele deterministyczne [Żółtowski, 1996],

---

<sup>3</sup>Przez model rozumie się taki układ, dający się pomyśleć lub materialnie zrealizować, który odtwarzając przedmiot badania zdolny jest zastępować go tak, że jego badanie dostarcza nam nowych informacji o tym przedmiocie [Żółtowski, 1996]. Może to być np. zbiór reguł określających relacje symptomy — stan techniczny.

<sup>4</sup>Jawne, tzn. w postaci zidentyfikowanej relacji funkcyjnej znalezionej np. metodą regresji. Niejawne, gdy brak jest znanej relacji funkcyjnej, ale znane jest odwzorowanie relacji: symptomy — stan z przykładowego zbioru maszyn, których stan techniczny jest dobry [Cempel, 1985]

- modele liniowe i nieliniowe [Dąbrowski, 1997], [Dąbrowski, 1998],
- modele probabilistyczne [Cempel, 1985],
- modele odwrotne [Cholewa, Kiciński, 1997],
- modele neuronalne [Tadeusiewicz, 1993], [Korbicz, 1994],
- modele rozmyte [Zadeh, 1965], [Cholewa, Pedrycz, 1987] i inne.

W celu zwiększenia efektywności wnioskowania stosuje się odpowiednie środki wspomaganie procesu wnioskowania. Są nimi np.:

- *drzewa uszkodzeń* [Pau, 1981],
- *drzewa sprawdzeń* [Pau, 1981],
- *tablice decyzyjne reguł* [Cholewa, Kaźmierczak, 1995],
- *systemy doradcze* [Buchanan *et al.*, 1983], [Hayes-Roth *et al.*, 1983], [Cholewa, Pedrycz, 1987], [Parsaye, Chignell, 1988], [Bubnicki, 1990], [Jackson, 1990].

Sposób postępowania przy realizacji badań diagnostycznych, a w szczególności wnioskowania diagnostycznego, jest ściśle określony (np. procedurę postępowania przy wnioskowaniu implikuje przyjęty model). Sposób realizacji badań diagnostycznych ma więc charakter proceduralny. O ile sam charakter postępowania w badaniach diagnostycznych jest proceduralny, to nie da się tego samego powiedzieć o całości wiedzy diagnostycznej, wymaganej do realizacji tych badań. Wiedza dotycząca np. *stwierdzeń* oraz *reguł* (rozd. 4.2.2) określających relacje pomiędzy stwierdzeniami dotyczącymi danego obiektu badań diagnostycznych ma charakter deklaratywny.

Widać więc, że wiedza diagnostyczna obejmuje zarówno *wiedzę proceduralną*, jak i *deklaratywną*. Szerzej problem ten jest naświetlony w rozdz. 3.2.

W następnym rozdziale przedstawiono przegląd metod pozyskiwania wiedzy diagnostycznej od specjalistów.

## 2.2 Przegląd metod pozyskiwania wiedzy od specjalistów

Pozyskanie wiedzy człowieka oraz jej reprezentacja w bazach wiedzy systemów doradczych jest zagadnieniem, którego rozwiązanie nie jest trywialne



[Bazewicz, 1993], [Bazewicz, 1994], dlatego też powstało wiele metod służących realizacji tego zadania [Jagielski, 1997], [Liou, 1998], [Turban, 1993]. Człowiek-specjalista nie jest jedynym źródłem wiedzy dla systemów doradczych.

Istnieją również metody pozyskiwania wiedzy bez udziału specjalisty, jako źródła wiedzy. Są to zwykle metody algorytmiczne, realizowane w postaci programów komputerowych. Przykładami takich metod są: metoda indukcji drzew decyzyjnych [Quinlan, 1986], metoda generowania pokryć [Michalski, 1983], metoda generowania reguł z zastosowaniem zbiorów przybliżonych [Pawlak, 1992], [Korbicz, 1994]) itp. Metody te nie są jednak tematem zainteresowania doktora, który podjął problem badawczy związany z pozyskiwaniem wiedzy wyłącznie od specjalistów.

Głównymi uczestnikami procesu pozyskiwania wiedzy są: specjalista lub grupa specjalistów oraz inżynier wiedzy lub grupa inżynierów wiedzy. Metody, jakie rozwinęły się na przestrzeni lat, są więc ukierunkowane głównie na bezpośrednią współpracę tych ludzi. Poniżej przedstawiono krótki przegląd wybranych metod.

- Jedną z historycznie najwcześniejszych metod pozyskiwania wiedzy od specjalistów polegała na prowadzeniu ustnych wywiadów [Olson, Reuter, 1987], [McGraw, Harbison-Briggs, 1989], [Liebowitz, 1997], w trakcie których inżynier wiedzy zadawał specjalistom wiele pytań. Celem takiego działania była m.in. identyfikacja sposobu uporządkowania wiedzy specjalisty o danej dziedzinie. Wywiad taki można prowadzić, posługując się odpowiednio przygotowanym zestawem pytań, tworzącym swego rodzaju scenariusz. Wymaga to od inżyniera wiedzy ogólnego zapoznania się z tematyką tej dziedziny. Przebieg wywiadu może być rejestrowany na nośniku magnetycznym, co pozwala na wielokrotną analizę jego treści. Celem takiej analizy jest wyszukiwanie relacji pomiędzy przedstawionymi faktami, reguł opisujących zależności przyczynowo-skutkowe, możliwej hierarchii pojęć lub ich klasyfikacji itp. Pozyskana w ten sposób wiedza jest zwykle weryfikowana przez specjalistę. Metoda ta pozwala na stosunkowo skuteczne pozyskanie wiedzy. Wymaga jednak bezpośredniego zaangażowania się specjalisty. Pewną trudnością związaną ze stosowaniem tej metody jest to, że wymaga ona od inżyniera wiedzy posiadania umiejętności formułowania pytań w ten sposób, aby otrzymywane na nie odpowiedzi pozwoliły mu na zrozumienie danego tematu. Wymaga więc dobrego merytorycznego przygotowania się inżyniera wiedzy z zakresu dziedziny, z której wiedzę pozyskuje.

- Inna ze znanych metod jest oparta na biernej obserwacji pracy specjalisty (np. [Chromiec, Strzemieczna, 1995], [Liebowitz, 1997]). Metoda ta polega na szczegółowej analizie działań specjalisty, współcześnie rejestrowanych np. na taśmie video. Wynikiem tej analizy może być wiedza zapisana np. w postaci tekstu. Taki sposób pozyskiwania wiedzy jest szczególnie przydatny w przypadku, gdy specjalista wykonuje głównie czynności manualne. Możliwa jest również sytuacja, kiedy specjalista będzie mówił o tym, co w danym momencie wykonuje oraz w jaki sposób dochodzi do określonych wniosków. Oczywiście, wymaga to wcześniejszych uzgodnień dotyczących np. ustalenia możliwych terminów spotkań, technicznych szczegółów przeprowadzenia rejestracji pracy specjalisty, zakresu działań specjalisty, sposobu objaśniania działań wykonywanych przez specjalistę itp. Łatwiej jest wtedy inżynierowi wiedzy zrozumieć czynności specjalisty, a także zidentyfikować związki przyczynowo-skutkowe występujące w danej dziedzinie. Wszystkie te czynności wstępne ułatwiają dokładną analizę zarejestrowanych czynności specjalisty. Metoda ta praktycznie nie nadaje się jednak do zastosowania wówczas, gdy specjalista rozwiązuje dany problem wyłącznie myślowo.
- Jeszcze inna metoda polega na postawieniu specjalście do rozwiązania kilku problemów związanych z dziedziną zainteresowania. Inżynier wiedzy stara się badać sposób rozumowania specjalisty w trakcie rozwiązywania tych problemów. Właściwa analiza pracy specjalisty przyczynia się wydatnie do zrozumienia problemu i opracowania efektywnego sposobu jego rozwiązania [Chromiec, Strzemieczna, 1995]. Również i ta metoda wymaga merytorycznego przygotowania się inżyniera wiedzy z dziedziny zainteresowania.
- Często istnieje potrzeba wyjaśnienia stosowanych przez specjalistę pojęć oraz ich hierarchii. Aby tego dokonać, inżynier wiedzy może zastosować metodę tzw. drzewa hierarchii [Chromiec, Strzemieczna, 1995]. Polega ona na takim zadawaniu pytań, aby w wyniku otrzymywanych odpowiedzi inżynier wiedzy mógł zbudować drzewo hierarchii ważności danych pojęć. Inżynier wiedzy musi przy tym szczególnie uważać, aby nie sugerować specjalście odpowiedzi. Dzięki tej metodzie inżynier wiedzy jest w stanie zidentyfikować zależności hierarchiczne, występujące w danej dziedzinie. Jest to bardzo przydatne szczególnie wtedy, gdy inżynier wiedzy nie potrafi samodzielnie zidentyfikować wspomnianych zależności, np. na podstawie literatury.

- W przypadku, gdy inżynier wiedzy zna już pojęcia stosowane przez specjalistę, ale chce lepiej poznać różnice między nimi, może zastosować tzw. metodę trzech kart [Chromiec, Strzemieczna, 1995]. Po ustaleniu obowiązującego słownictwa, nazwy poszczególnych obiektów zapisywane są na kartkach. Specjalista ma za zadanie podzielić w jakiś sposób trzy wybrane przez inżyniera wiedzy karty i wyjaśnić przyczyny takiego podziału.

W każdym z przedstawionych przypadków powstaje problem sprawdzenia poprawności zrozumienia przez inżyniera wiedzy tego, co przekazał mu specjalista. Można tego dokonać w ten sposób, że uczestnicy procesu pozyskiwania wiedzy zamieniają się rolami. Specjalista zadaje wtedy inżynierowi wiedzy pytania lub stawia problemy do rozwiązania. W ten sposób specjalista przekonuje się, czy przekazał swoją wiedzę we właściwy sposób.

Wówczas, gdy inżynier wiedzy dokonał już reprezentacji pozyskanej wiedzy, np. w postaci reguł, specjalista (lub specjaliści) powinien ocenić prawdziwość poszczególnych reguł. Nie jest to zadanie proste. Powodów tego jest kilka:

- specjalista nie zawsze jest świadom istnienia reguł, które mogą reprezentować posiadaną przez niego wiedzę (szczególnie wtedy, gdy wiedza ta ma charakter heurystyczny<sup>5</sup>),
- treść reguły została zapisana przez inżyniera wiedzy, który stosował terminologię specjalisty, ale według własnego jej zrozumienia,
- sposób oceny reguł opracowany przez inżyniera wiedzy powinien być jednoznaczny i zrozumiały dla specjalisty.

Powyższe przykłady pozyskiwania wiedzy od specjalistów należą do grupy sposobów pośrednich [Hayes-Roth *et al.*, 1983], [Moczulski, 1997], tzn. inżynier wiedzy pośredniczy w przekazywaniu wiedzy specjalisty do bazy wiedzy systemu doradczego. Natomiast w sposobach bezpośrednich [Hayes-Roth *et al.*, 1983] nie jest wymagany równoczesny czynny udział wspomnianych osób. W procesie pozyskiwania wiedzy od specjalisty w sposób bezpośredni, udział czynny specjalisty wspomagany jest za pomocą specjalnie przygotowanych środków programowych. Za ich pomocą może on sam dokonywać zapisów reprezentujących posiadaną

---

<sup>5</sup>To znaczy nie dający się ująć w ścisłe procedury postępowania, ale nie dający też pewności osiągnięcia postawionego celu.

wiedzę z danej dziedziny. W pewnych przypadkach może być potrzebne przeszkolenie specjalisty w obsłudze programu komputerowego wspomagającego omawiany proces. Autor zapoznał się z kilkoma programami komputerowymi, specjalnie w tym celu opracowanymi. Ich opisy znajdują się np. w [ACQUIRE, 1997], [Act-Editor, 1997], [CAKE 2.2, 1998], [TARGET, 1992].

Cechami charakterystycznymi tych programów są:

- stosowanie istniejących środków reprezentacji wiedzy (stwierdzenia, reguły, proste schematy blokowe),
- możliwość prezentacji zapisów (dokonanych przez specjalistę) reprezentujących wiedzę w postaci tekstowej lub graficznej,
- brak ukierunkowania dziedzinowego, polegającego m.in. na zastosowaniu środków reprezentacji wiedzy odpowiednich dla danej dziedziny, np. diagnostyki maszyn.

Mimo ciągłego rozwoju wspomnianego oprogramowania komputerowe wspomaganie procesu pozyskiwania wiedzy od specjalistów jest problemem otwartym. Szczególnie warto tu zwrócić uwagę na:

- brak znanych autorowi specjalizowanych programów do pozyskiwania wiedzy wyłącznie z dziedziny diagnostyki maszyn<sup>6</sup>,
- brak możliwości oceny pozyskanych porcji wiedzy z zastosowaniem sformalizowanego systemu oceniania.

Zainteresowanie diagnostyką maszyn, metodami i technikami sztucznej inteligencji, zagadnieniami związanymi z procesem pozyskiwania wiedzy dla systemów doradczych od specjalistów oraz zapoznanie się z obecnym stanem rozwoju środków programowych wspomagania tego procesu spowodowało, że autor stwierdził potrzebę prowadzenia badań nad rozwojem środków programowych do wspomaganie procesu pozyskiwania wiedzy diagnostycznej od specjalistów, a następnie podjął takie badania.

---

<sup>6</sup>Potrzeba zastosowania specjalizowanych programów do pozyskiwania wiedzy z dziedziny diagnostyki maszyn i urządzeń wiąże się ze specyfiką tej wiedzy.

## 2.3 Problem badawczy

Metody pozyskiwania wiedzy od specjalistów podlegają ciągłemu rozwojowi. Dzięki rozwojowi techniki komputerowej powstały nowe możliwości również w tej dziedzinie działalności diagnostycznej. Problem badawczy, jakim zajął się autor, jest związany z opracowaniem metod pozyskiwania wiedzy od specjalistów z dziedziny diagnostyki maszyn, ze szczególnym uwzględnieniem metod komputerowego wspomaganie procesu pozyskiwania wiedzy. Aby metody te mogły zostać zweryfikowane, należało opracować stosowne środki programowe.

Z uwagi na specyfikę dziedziny, jaką jest ogólnie pojęta diagnostyka maszyn, rozwiązanie wspomnianego problemu badawczego jest zadaniem, którego — zdaniem autora — nie da się zrealizować zgodnie z raz opracowanym wzorcowym sposobem. Każda próba jego rozwiązania może być inna ze względu zarówno na założenia wstępne, jak i sposób ich realizacji. Dlatego też dalsze prace naukowe w poszukiwaniu rozwiązania tego zagadnienia są zasadne. Jednym z uzasadnionych podejść do rozwiązania tego problemu badawczego jest tworzenie specjalizowanych środków programowych, np. w postaci formularzy elektronicznych” [Moczulski, 1997]. Za ich pomocą użytkownik-specjalista może dokonywać zapisów reprezentujących wiedzę o danej dziedzinie, obejmującej problemy badań diagnostycznych wyróżnionej grupy obiektów.

Osobnym zadaniem jest odpowiednie zaprojektowanie wspomnianych środków programowych pod względem ich „przyjazności” dla użytkownika. Chodzi tu m.in. o:

- dobór środowiska programowego umożliwiającego otrzymanie prostej i zrozumiałej postaci graficznej programu,
- dostarczanie użytkownikowi maksimum potrzebnych w danym momencie informacji w sposób wizualny,
- dobór postaci i kolorystyki elementów graficznych programu.

Widzimy więc, że podjęty przez autora problem badawczy jest nietrywialny, a jego rozwiązanie wymaga złożonego podejścia.

## 2.4 Cel rozprawy

Celem rozprawy było opracowanie metod pozyskiwania wiedzy diagnostycznej od specjalistów, opracowanie środków reprezentacji wiedzy z uwzględnieniem podziału na wiedzę proceduralną i deklaratywną, a także opracowanie metod komputerowego wspomaganie procesu pozyskiwania wiedzy od specjalistów. Przyjęto, że zgromadzona wiedza powinna być reprezentowana w taki sposób, aby mogła zostać zastosowana do budowy bazy wiedzy diagnostycznego systemu doradczego.

## 2.5 Tezy

1. Możliwe jest opracowanie systemu, pozwalającego na zobjektywizowanie ocen reguł empirycznych pozyskanych od specjalistów.
2. Zastosowanie wielowarstwowych schematów blokowych jako środka reprezentacji wiedzy proceduralnej jest przydatne do pozyskiwania od specjalistów wiedzy o metodach i technikach prowadzenia badań diagnostycznych.

# Rozdział 3

## Przedmiot badań

W rozdziale tym scharakteryzowano proces pozyskiwania wiedzy od specjalistów. Szczegółowo omówiono jego stadia i uczestników. Poza tym przedstawiono wybrane metody reprezentacji wiedzy, z uwzględnieniem podziału wiedzy na proceduralną i deklaratywną. Głównym kryterium wyboru tych metod jest ich przydatność do zastosowania we wspomnianym procesie.

### 3.1 Proces pozyskiwania wiedzy diagnostycznej od specjalistów

Celem procesu pozyskiwania wiedzy jest pozyskanie zasobu wiedzy i doświadczenia, odpowiadających zakresowi zadań z danej dziedziny zastosowania, ze zidentyfikowanych źródeł wiedzy oraz zapisanie ich w bazie wiedzy w sposób umożliwiający skuteczne wspomaganie człowieka podczas rozwiązywania problemów z tej dziedziny [Moczulski, 1997]. Ogólnie w procesie pozyskiwania wiedzy można wyróżnić następujące stadia [Moczulski, 1997]:

1. określenie dziedziny zainteresowania oraz zakresu zadań, których rozwiązywanie ma być wspomagane przez system doradczy, dla którego wiedza ma być pozyskana,
2. identyfikacja źródeł wiedzy,
3. wybór środków reprezentacji wiedzy,
4. pozyskiwanie wiedzy i zapis wstępnej, prototypowej wersji bazy wiedzy dla pewnego podzbioru typowych problemów danej dziedziny,

5. weryfikacja<sup>1</sup> wstępnej wersji bazy wiedzy dla zbioru przypadków testowych,
6. rozbudowa bazy wiedzy do wersji pełnej (obejmującej pełny zakres zadań danej dziedziny zastosowania),
7. zidentyfikowanie i usunięcie błędów wykrytych w bazie wiedzy,
8. walidacja<sup>2</sup> bazy wiedzy przez niezależnych specjalistów i jej przekazanie do eksploatacji.

Poniżej omówione zostaną wymienione stadia procesu pozyskiwania wiedzy.

#### Ad.1

Wynikiem zakończenia pierwszego stadium opisywanego procesu powinien być dokładny opis potrzeby, jaka ma być zaspokojona za pomocą konstruowanego systemu doradczego. Powinien zostać również dokładnie i jednoznacznie określony zakres zastosowania systemu (dziedzina zastosowania) oraz krąg potencjalnych użytkowników [Cholewa, Moczulski, 1990a].

#### Ad. 2

W tym stadium należy podjąć stosowne decyzje dotyczące wyboru źródeł wiedzy, z których zostanie ona pozyskana. W zależności od specyfiki dziedziny zastosowania systemu doradczego, należy zidentyfikować potencjalne źródła wiedzy. Następnym krokiem działań powinna być dogłębna analiza przydatności wiedzy dostępnej z danego źródła.

#### Ad. 3

Aby skutecznie wybrać optymalny sposób reprezentacji wiedzy niezbędnej do działania systemu, należy odpowiedzieć sobie w tym stadium na szereg pytań. Oto przykładowe pytania (za [Cholewa, Moczulski, 1990a]):

- czy wymagania stawiane systemowi doradczemu prowadzą do jakiegoś konkretnego sposobu reprezentacji,
- czy wymagane będzie reprezentowanie wiedzy niepewnej,

---

<sup>1</sup>Weryfikacja systemu doradczego obejmuje sprawdzenie m.in. wykonania elementów składowych systemu doradczego zgodnie z projektem, adekwatności reprezentacji wiedzy, skuteczności mechanizmu wnioskowania, organizacji dialogu z użytkownikiem.

<sup>2</sup>Walidacja systemu doradczego obejmuje działania związane ze sprawdzeniem poprawności zawartości bazy wiedzy (jak również jej modyfikacji), jakości proponowanych decyzji i konkluzji systemu, czasu trwania wnioskowania itp. Sprawdzenie to prowadzone jest z zastosowaniem danych testowych, które nie zostały zastosowane do budowy bazy wiedzy danego systemu.



- czy dopuszczalny będzie brak odpowiedzi użytkownika na wybrane pytania zadawane przez system,
- czy możliwe będzie zastosowanie istniejących już systemów szkieletowych, czy też konieczne będzie konstruowanie systemu za pomocą stosownych języków programowania,
- czy system będzie współpracował z innymi systemami lub zewnętrznymi bazami danych i wiedzy,
- czy wymagana będzie możliwość modyfikowania zawartości bazy wiedzy przez użytkownika systemu,
- czy wymagane będzie wyposażenie systemu w moduł umożliwiający pozyskiwanie wiedzy od użytkownika,
- czy wymagana będzie możliwość samoczynnego weryfikowania przez system jego bazy wiedzy w celu wykrycia występujących w niej sprzeczności oraz redundancji?

#### Ad. 4

W tym stadium należy wstępnie pozyskać wiedzę, obejmującą tylko jeden z możliwych podzbiorów dziedziny zastosowania systemu doradczego. Następnie należy utworzyć wstępną wersję bazy wiedzy, głównie w celu sprawdzenia, czy sposób reprezentacji wiedzy został wybrany prawidłowo.

#### Ad. 5

Prototyp systemu doradczego należy uzupełnić o utworzoną wstępną wersję bazy wiedzy. Następnie należy sprawdzić, dysponując zbiorem przypadków testowych, czy wyniki wnioskowania otrzymane przez system są poprawne.

#### Ad. 6

W tym stadium należy dokonać rozbudowy bazy wiedzy do wersji na tyle pełnej, na ile pozwala aktualnie posiadana pozyskana wiedza. W wyniku doświadczeń z późniejszym zastosowaniem systemu doradczego oraz ewentualnej zmiany stanu wiedzy baza może zostać rozbudowana.

#### Ad. 7

Następnym działaniem będzie sprawdzenie poprawności utworzonej bazy wiedzy. Należy sprawdzić, czy w bazie wiedzy nie ma reguł sprzecznych, nadmiarowych, pochłaniających się czy też mogących powodować „zapętlenia” w czasie

wnioskowania systemu doradczego [Cholewa, Pedrycz, 1987].

Ad. 8

Końcowym stadium procesu tworzenia bazy wiedzy jest jej walidacja przez grupę niezależnych specjalistów. Sprawdzają oni poprawność wyników wnioskowania systemu doradczego, przy założeniu poprawności działania układu wnioskującego.

Pozyskiwanie wiedzy od specjalistów za pośrednictwem inżyniera wiedzy systemu doradczego lub bez jego pośrednictwa stanowiło historycznie najwcześniej stosowaną grupę metod [Moczulski, 1997]. Również w czasach współczesnych metody te mają zastosowanie, szczególnie do konstruowania małych systemów doradczych<sup>3</sup> lub też wstępnych wersji dużych systemów doradczych. Zwykle w procesie tym nie bierze udziału tylko jeden specjalista, ale przeważnie zespół specjalistów. Mając na uwadze specyfikę wiedzy diagnostycznej, udział wielu specjalistów posiadających wiedzę nie tylko ogólną, ale i zdobytą poprzez subiektywne doświadczenia tym bardziej jest zasadny.

Wiedza specjalistów z danej dziedziny może być pozyskiwana w sposób *bezpośredni* (rys.3.1) lub *pośredni* (rys. 3.2). W pierwszym przypadku główną rolę spełnia specjalista, gdyż to on sam dokonuje zapisu wiedzy za pomocą specjalnie opracowanych środków w postaci np. formularzy i ankiet papierowych” lub też ich odpowiedników elektronicznych (np. formularze elektroniczne” [Moczulski, 1996a]). Zadania inżyniera wiedzy będą wtedy związane jedynie z dalszymi działaniami na zapisach porcji” wiedzy dokonanych za pomocą danej formy reprezentacji.

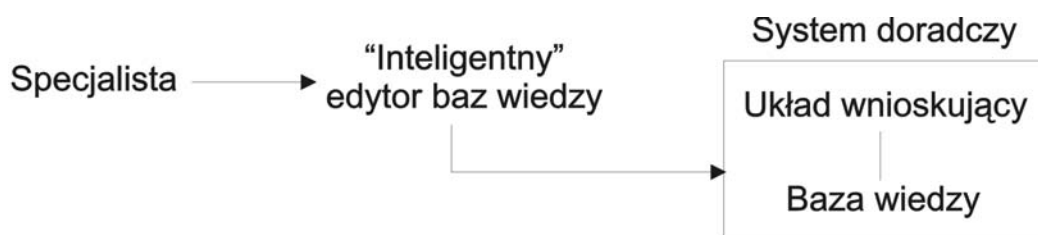
W drugim zaś przypadku większą rolę spełnia inżynier wiedzy, gdyż to on spotyka się ze specjalistą, przeprowadzając z nim wywiady lub obserwując jego pracę. On ustala harmonogram współpracy ze specjalistą, oczywiście, w ścisłej z nim współpracy, dokonuje stosownej reprezentacji pozyskanej wiedzy, zapisuje pozyskane porcje” wiedzy do bazy wiedzy itp.

### 3.1.1 Charakterystyka uczestników procesu pozyskiwania wiedzy

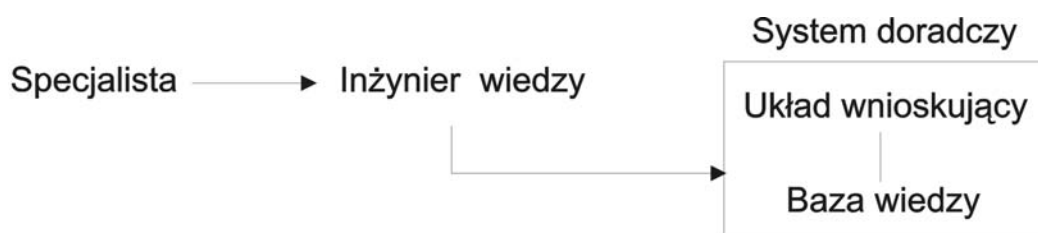
W rozdziale tym scharakteryzowano uczestników procesu pozyskiwania wiedzy, a więc: konstruktora systemu doradczego, specjalistę oraz inżyniera wiedzy. Pe-

---

<sup>3</sup>Małe systemy doradcze, tzn. takie, które zawierają niewielką liczbę reguł [Cholewa, Pedrycz, 1987].



Rysunek 3.1: Pozyskiwanie wiedzy od specjalisty w sposób bezpośredni (za [Hayes-Roth *et al.*, 1983])



Rysunek 3.2: Pozyskiwanie wiedzy od specjalisty w sposób pośredni (za [Hayes-Roth *et al.*, 1983])

wien wyjątek stanowią systemy doradcze małe”, kiedy to wszystkie zadania związane z pozyskiwaniem wiedzy zwykle wykonuje jedna osoba. Uczestnicy wspomnianego procesu zostali scharakteryzowani pod kątem wykonywanych przez nich zadań, wymaganych od nich umiejętności itp.

### Konstruktor systemu doradczego

Konstruktor systemu powinien posiadać przede wszystkim wiedzę dotyczącą zasad konstruowania i tworzenia systemów doradczych. Powinien też mieć przynajmniej ogólną wiedzę o dziedzinie, w której system będzie zastosowany, w mniejszym zaś stopniu — wiedzę dotyczącą metod pozyskiwania oraz reprezentacji wiedzy, a także środków programowych do tworzenia systemów doradczych.

Konstruktor systemu doradczego jest osobą odpowiedzialną za podejmowanie kluczowych decyzji związanych z:

- identyfikacją problemu, do którego rozwiązywania ma zostać zastosowany system doradczy [Cholewa, Moczulski, 1990a],
- określeniem istoty działania systemu [Cholewa, Moczulski, 1990a],
- określeniem zakresu wiedzy, która powinna wystąpić w systemie

[Cholewa, Moczulski, 1990a],

- wyborem optymalnego sposobu reprezentacji wiedzy dla danej dziedziny zainteresowania,
- wyborem źródeł wiedzy,
- wyborem środków programowych do utworzenia systemu,
- konstruowaniem elementów systemu [Cholewa, Moczulski, 1990a],
- określeniem procedur weryfikacyjnych dla utworzonego systemu,
- koordynacją zadań wykonywanych przez osoby biorące udział w pracach nad opracowaniem systemu doradczego.

### Specjalista

Jak już wcześniej wspomniano, jednym z najważniejszych źródeł wiedzy niezbędnej do budowy baz wiedzy systemów doradczych, stosowanych do wspomagania zadań człowieka w diagnostyce maszyn, jest człowiek-specjalista. Sytuacja taka utrzymuje się nadal mimo zastosowania wielu nowoczesnych metod pozyskiwania wiedzy związanych z uczeniem maszynowym [Michalski, 1983], [Bolc, Zaremba, 1992] czy też odkrywaniem wiedzy z baz danych [Michalski, 1988], [Żytkow, Zembowicz, 1993]. Często spotykanym sposobem reprezentacji wiedzy są reguły, wykorzystywane głównie ze względu na możliwość zastosowania w miarę nieskomplikowanych procedur wnioskowania w systemie doradczym. Pewną niedogodnością związaną ze stosowaniem baz wiedzy z regułami utworzonymi za pomocą metod uczenia maszynowego, jest trudność oceny przez specjalistę poprawności otrzymanych wyników wnioskowania systemu doradczego. W szczególności chodzi o trudności interpretacji treści niektórych reguł zastosowanych w procesie wnioskowania, zwłaszcza zaś reguł o bardzo rozbudowanych przesłankach. Przyczyną tego jest zastosowanie algorytmów, za pomocą których można zidentyfikować dowolne zależności ilościowe i jakościowe w bazach danych, które to zależności da się reprezentować za pomocą reguł. O istnieniu tych zależności człowiek-specjalista często nie wie, a nawet nie potrafi logicznie (bazując na posiadanej wiedzy) uzasadnić ich istnienia. Przykładem może być następująca reguła, określająca zależności ilościowe<sup>4</sup>:

<sup>4</sup>Reguła ta została utworzona przy użyciu programu Rosetta [Rosetta, 1998], podczas badań prowadzonych w Katedrze PKM Pol. Śląskiej przez Krzysztofa Ciupke. Nie jest to reguła

- zapis w formacie oryginalnym:  
 $RtSp([2512, *]) \text{ AND } A04D1((0.20, 0.56]) \text{ AND } A18TD((20, *]) \text{ AND } R02D2>(* , 0.26]) \text{ AND } R02TD((85, *]) \text{ AND } R16TD((80, *]) \Rightarrow \text{UNB(dynamic)}$
- tekst po rozkodowaniu:  
jeżeli prędkość obrotowa jest większa lub równa 2512 1/min. i długość dłuższej półosi trajektorii ruchu środka czopa wału zmierzonej w węźle nr 4 (dla drgań bezwzględnych) mieści się w przedziale od 0,20 mm do 0,56 mm i kąt nachylenia dłuższej półosi trajektorii ruchu środka czopa wału zmierzonej w węźle nr 18 (dla drgań bezwzględnych) jest większy lub równy niż  $20^\circ$  i długość krótszej półosi trajektorii ruchu środka czopa wału zmierzonej w węźle nr 2 (dla drgań względnych) jest mniejsza lub równa niż 0,26 mm i kąt nachylenia dłuższej półosi elipsy trajektorii ruchu środka czopa wału zmierzonej w węźle nr 2 (dla drgań względnych) jest większa niż  $85^\circ$  i kąt nachylenia dłuższej półosi elipsy trajektorii ruchu czopa wału zmierzonej w węźle nr 16 (dla drgań względnych) jest większy niż  $80^\circ$ , to niewyrównoważenie wału ma charakter dynamiczny.

Stąd wynika potrzeba walidacji takich baz wiedzy, co zwykle wykonują specjaliści. Dlatego też istotną zaletą wiedzy przekazywanej przez człowieka jest jej względna zrozumiałość (przynajmniej w wąskim gronie specjalistów).

Sprecyzujmy pojęcie *specjalisty*<sup>5</sup>. W kontekście rodzajów posiadanej wiedzy można powiedzieć, że specjalista może mieć:

- wiedzę podstawową o charakterze ogólnym, nabytą w procesie kształcenia się; jest ona podstawą do zdobycia wiedzy specjalistycznej,
- wiedzę ogólnie dostępną z danej dziedziny, a więc zawartą w normach technicznych, ustaleniach projektowych, publikacjach naukowo-technicznych, dokumentacji technicznej itp.,
- wiedzę specjalistyczną, wynikającą z nabytego doświadczenia w wyniku

---

opisująca ogólny przypadek niewyrównoważenia dynamicznego, ale jeden z jego przypadków szczególnych. W szczególności dotyczy ona modelu obiektu rzeczywistego i została uzyskana dla ściśle określonego zbioru danych uczących.

<sup>5</sup>Ze względu na to, że terminy *specjalista* oraz *ekspert* są synonimami, w dalszej części autor będzie używał w tekście własnym określenia *specjalista*.

praktyki zawodowej (często wtedy on sam tworzy wiedzę<sup>6</sup>) oraz dalszego uczenia się, np. na kursach specjalistycznych; zwykle wiedza ta ma charakter nieformalny, heurystyczny (rozdz. 2).

A więc wiedza posiadana przez specjalistę jest zazwyczaj ściśle ukierunkowana na praktyczne rozwiązywanie problemów z dziedziny jego zainteresowania. Dziedzina ta jest zwykle wąska.

Ważną cechą specjalisty jest również intuicja, którą potrafi posługiwać się podczas rozwiązywania problemów. Zwykle ma on też umiejętność szczegółowej obserwacji<sup>7</sup>, znajdowania możliwych przyczyn zaistnienia danego zdarzenia oraz wyciągania wniosków natury ogólnej z zaobserwowanych pojedynczych realizacji danego zjawiska. A więc jego sposób wnioskowania<sup>8</sup> ma charakter (w pewnym stopniu) redukcyjny, a także indukcyjny (np. [Ajdukiewicz, 1958]). Człowiek, posługując się swoją inteligencją oraz wiedzą, jest w stanie prowadzić proces twórczego myślenia, wykorzystując zamierzone obserwacje i doświadczenia. Szczególną zdolnością specjalisty powinna być umiejętność rozumnego wnioskowania. Specjalista podczas myślowego rozwiązywania danego problemu zwykle posługuje się różnymi sposobami wnioskowań, choć nie zawsze musi czynić to ze świadomością istnienia takiego czy innego ich podziału.

Jednym ze sposobów wnioskowań, charakterystycznym dla specjalisty, jest *indukcja*<sup>9</sup>, a w szczególności indukacja niezupełna<sup>10</sup>.

**Przykład:** gdy na podstawie wyników obserwacji stwierdzających, że w elektrowni A wskutek nierównomiernego osiadania fundamentów turbozespołu o mocy 200 MW wystąpiła niewspółosiowość wałów, w elektrowni B wskutek nierównomiernego osiadania fundamentów turbozespołu o mocy 120 MW wystąpiła niewspółosiowość wałów

---

<sup>6</sup>Czynnościami wiedzytwórczymi nazywamy najogólniej wszystkie świadome, niezbędne czynności myślowe, wyrażane w pewnym systemie znaków, w wyniku których uzyskujemy bezpośrednio lub pośrednio wiedzę o danej dziedzinie przedmiotów [Pasenkiewicz, 1979].

<sup>7</sup>Obserwacja jest to dochodzenie do sądów spostrzeżeniowych, mających być odpowiedzią na pewne aktualnie przeżywane pytanie [Ajdukiewicz, 1958].

<sup>8</sup>Wnioskowaniem nazywamy czynność myślową uznawania zdań na podstawie zdań już uznanych, lub ogólniej poznawcze ustosunkowanie się do zdań na podstawie wcześniejszego ustosunkowania się poznawczego do pewnych innych zdań [Pasenkiewicz, 1979].

<sup>9</sup>Poprzez indukację (w ogóle) rozumie się (...) każdy uogólniający sposób wnioskowania [Ajdukiewicz, 1958].

<sup>10</sup>Wnioskowanie przez indukację niezupełną jest to wnioskowanie, w którym wyprowadza się jako wniosek jakies twierdzenie ogólne z przesłanek, które są jego poszczególnymi przypadkami [Ajdukiewicz, 1958].

oraz w elektrowni C wskutek nierównomiernego osiadania fundamentów turbozespołu o mocy 50 MW wystąpiła niewspółosiowość wałów, a w każdym przypadku mieliśmy do czynienia z turbozespołem — dochodzi się do wniosku, że w każdym turbozespołe nastąpi rozosiowanie linii wałów w przypadku nierównomiernego osadzania się fundamentów.

Oczywiście, wnioskowanie takie nie zawsze musi być niezawodne. Różna liczba obserwacji, sposób ich wykonywania itp. oraz wcześniej zdobyte doświadczenia specjalisty mogą spowodować powstanie zróżnicowanych wniosków uogólniających obserwowane zjawiska. Dlatego też taki sposób tworzenia wiedzy jest jedną z możliwych przyczyn istnienia pewnej różnicy sądów, jakie mogą mieć różni specjaliści na ten sam temat. Ten sposób wnioskowania nie tylko stosuje się do rozwiązywania określonych problemów np. diagnostycznych, ale może być także używany w procesie uczenia się (np. specjaliści).

Innym ważnym sposobem wnioskowania, jakim zwykle posługuje się specjalista, jest *wnioskowanie dedukcyjne*<sup>11</sup>. Jest ono charakterystyczne dla doświadczonych specjalistów, którzy posiadając już duży zasób wiedzy, potrafią np. wnioskować o stanie technicznym danej maszyny na podstawie zmierzonych wartości wybranych symptomów jej stanu technicznego. Wnioskowanie to jest wprawdzie logicznie niezawodne, ale nie zawsze musi prowadzić do prawdziwych wniosków.

**Przykład:** diagnosta porównuje znane mu wartości alarmowe amplitudy drgań wału badanej maszyny wirnikowej, wyznaczone przed niedawno zakończonym remontem, z wartościami aktualnie zmierzonymi oraz wie, że przeprowadzono remont. Ponieważ wartości amplitud przekraczają znane mu (ale już nieaktualne) wartości alarmowe, podejmuje decyzję o wyłączeniu maszyny. Pierwsza z przesłanek nie jest prawdziwa, chociaż druga tak. Widzimy więc, że dla tego sposobu wnioskowania istnienie nawet jednej nieprawdziwej przesłanki (wśród kilku możliwych) może spowodować, że wniosek jest błędny.

Przeciwnie do poprzedniego sposobu wnioskowania jest *wnioskowanie redukcyjne*. Specjalista również posługuje się tym schematem wnioskowania<sup>12</sup>.

<sup>11</sup>Wnioskowaniem dedukcyjnym nazywamy takie wnioskowanie, z którego przesłanek wynika logicznie jego wniosek [Ajdukiewicz, 1958].

<sup>12</sup>Wnioskowanie przebiega w sposób redukcyjny, gdy z przesłanek tego wnioskowania nie wynika jego wniosek, natomiast z wniosku tego wnioskowania wynikają przesłanki [Ajdukiewicz, 1958].

**Przykład:** kierowca samochodu, stwierdzając zatarcie się tłoka w cylindrze silnika, dojdzie do wniosku, że bezpośrednią przyczyną awarii był wyciek oleju silnikowego.

Taki typ wnioskowania jest wprawdzie zgodny z intuicją, również popartą pewnym doświadczeniem, ale nie jest on niezawodny. Widoczne jest to w przytoczonym przykładzie, gdzie przyczyn zatarcia się tłoka w cylindrze może być więcej. Ten sposób wnioskowania jest charakterystyczny właśnie dla rozwiązywania problemu diagnostycznego.

Jeśli chodzi o predyspozycje specjalisty ułatwiające inżynierowi wiedzy współpracę z nim, to można wskazać m.in. następujące cechy [Smok, 1994a]:

- umiejętność i chęć przekazywania wiedzy,
- umiejętność jasnego i precyzyjnego formułowania myśli,
- zdolność do współpracy z innymi — komunikatywność,
- takt i cierpliwość.

Charakteryzując osobę specjalisty jako jednostkę psychologiczną, należy wziąć pod uwagę to, że ważnym problemem jest również psychologiczne uwarunkowanie specjalisty oraz jego wpływ na przekazaną wiedzę. Informacje dopływające do człowieka powodują odwzorowanie otaczającej go w danej chwili rzeczywistości w dziedzinie jego skojarzeń psychicznych, a więc w strefie pamięci statycznej i operacyjnej [Smok, 1994a]. Odwzorowanie to zależy od indywidualnych cech psychicznych, od wiedzy, jaką posiadał podczas uczenia się i wykonywania celowych doświadczeń i obserwacji. Jego przestrzeń świadomości składa się m.in. z wyobrażeń, skojarzeń, pamięci i myśli (...). Człowiek chętnie przekazuje te informacje, które ma na «wierzchu pamięci»<sup>13</sup>, często są to informacje o których wszyscy wiedzą. Należałoby się zastanowić, jak zmusić eksperta, aby sięgnął «głębiej w pamięć» i przekazał (inżynierowi wiedzy — przyp. aut.) interesującą wiedzę” [Smok, 1994a]. Człowiekiem, który ma rozwiązać ten i inne problemy związane z pozyskaniem wiedzy od specjalisty, jest inżynier wiedzy.

---

<sup>13</sup>czyli informacje budzące najszybsze i najprostsze skojarzenia z danym problemem, często o małym znaczeniu — przyp. autora



### Inżynier wiedzy

Inżynier wiedzy jest jednym ze współwykonawców systemu doradczego. Powinien to być człowiek posiadający obszerną wiedzę informatyczną, z dobrą umiejętnością programowania, a przynajmniej obsługi systemów wspomagających tworzenie baz wiedzy. Jednak poza wiedzą i kwalifikacjami informatycznymi powinien jeszcze posiadać wiedzę ogólną z danej dziedziny <sup>14</sup>, aby w odpowiedni i umiejętny sposób prowadzić dialog z ekspertami i wydobywać od nich najistotniejsze fakty i reguły dotyczące rozwiązywania odpowiednich problemów” [Białko, 1997].

Główne zadania wykonywane przez inżyniera wiedzy to przede wszystkim:

- pozyskiwanie nowej wiedzy,
- edycja zawartych w bazie wiedzy zapisów, które reprezentują wiedzę,
- usuwanie błędów w bazie wiedzy (nadmiarowość reguł, sprzeczność reguł, błędy literowe w zapisach itp.),
- tzw. pielęgnacja bazy wiedzy, np. usuwanie reguł nieaktualnych, dopisywanie nowych reguł,
- zapisywanie w jednej bazie wiedzy reguł pochodzących od wielu specjalistów oraz dokonywanie uzupełnień i modyfikacji tak, aby te reguły mogły być jednocześnie stosowane w tym samym systemie doradczym,
- wprowadzanie do bazy wiedzy wartości ocen (dotyczących poprawności wiedzy reprezentowanej za pomocą różnych środków),
- przedstawianie wiedzy zapisanej w bazie do oceny specjalistom,
- łączenie opinii wielu specjalistów o danym elemencie bazy wiedzy (dla każdego ocenionego elementu),
- nadzór nad dokumentowaniem wszelkich zmian wprowadzanych w bazie wiedzy.

Oczywiście, w przypadku wspomagania procesu pozyskiwania wiedzy za pomocą specjalizowanych programów komputerowych, może wystąpić potrzeba nauczania specjalisty posługiwania się danym programem. Zadanie to również może wykonać inżynier wiedzy.

---

<sup>14</sup>w której zostanie zastosowany system doradczy — przyp. aut.

### 3.1.2 Typowe problemy związane z procesem pozyskiwania wiedzy od specjalistów

Trudność zadania, jakie ma do wykonania inżynier wiedzy, wynika z braku gotowego algorytmu jego wykonania. Jednym z ważniejszych problemów, z jakim musi uporać się inżynier wiedzy, jest zrozumienie języka, jakiego będzie używał specjalista. Wymaga to pewnego przygotowania merytorycznego z dziedziny, z której wiedza będzie pozyskiwana. Można wskazać na następujące możliwe błędy w słownym przekazywaniu myśli [Ajdukiewicz, 1960]:

- błąd pierwszy polega na tym, że używa się wyrażień, które wprawdzie samemu się rozumie, ale które dla słuchacza są obce i niezrozumiałe,
- drugi błąd popełnia się niekiedy przy mówieniu polega na tym, że nie potrafi się dokładnie oddać słowami swoich myśli, a to, co się mówi, nie odpowiada dokładnie temu, co pragnie się wyrazić,
- błędem jest też niejednoznaczne wypowiedzianie swych myśli, tzn. posługiwanie się dla ich wyrażenia wypowiedziami, które słuchacz może rozmaicie zrozumieć.

Istnieje możliwość zminimalizowania powyżej wspomnianych błędów. Może to nastąpić w wyniku zastosowania specjalistycznych programów komputerowych, wspomagających proces pozyskiwania wiedzy. W programach tych już sam sposób reprezentacji wiedzy niejako wymusza na specjalistę jego sposób formułowania myśli oraz używane słownictwo, a poprzez to specjalista również jest zobligowany do używania małej liczby słów, za to słów o znaczeniu możliwie ścisłym dla danej dziedziny zainteresowania. Pewnym kłopotem może okazać się tu odmienne nazewnictwo (głównie terminów technicznych), stosowane przez różnych specjalistów. Rozwiązaniem tego kłopotu może być zastosowanie synonimów użytych nazw. Wszystkie możliwe synonimy powinny być wtedy uporządkowane w postaci słownika synonimów. Dzięki niemu specjaliści, posługujący się nawet nieco innym słownictwem, są w stanie zrozumieć znaczenie terminów użytych przez innych.

Jeśli już sam proces bezpośredniej współpracy inżyniera wiedzy ze specjalistą zostanie zakończony, to podczas dalszych działań na dokonanych zapisach w bazie wiedzy mogą nasunąć się inżynierowi wiedzy pewne wątpliwości, dotyczące np. poprawności pozyskanej wiedzy lub też zastosowanego formalizmu jej pozyskiwania i reprezentacji. Można sobie wtedy zadać pytania:

- czy specjalista w pełni zrozumiale przekazał nam wiedzę dotyczącą rozwiązania danego problemu?
- czy doszukamy się w pozyskanej wiedzy treści nas interesujących?
- czy wiedza ta jest pełna i niesprzeczna?
- czy wiedza przekazana przez specjalistę w języku naturalnym (np. poprzez dialog) da się reprezentować z zastosowaniem wybranej wcześniej metody?
- czy zastosowane środki wspomagające proces pozyskiwania wiedzy okazały się wystarczająco przyjazne dla użytkownika (specjalisty), aby w pełni mógł on przekazać swą wiedzę?

Wątpliwości te powinny zostać usunięte na etapie weryfikacji i walidacji systemu doradczego. Wtedy też ponownie pojawia się problem współpracy inżyniera wiedzy ze specjalistą lub grupą specjalistów, polegający na porównaniu wyników wnioskowania uzyskanych przy zastosowaniu systemu doradczego z podobnymi działaniami przeprowadzanymi przez człowieka. Problem weryfikacji i walidacji systemów doradczych wykracza jednak poza ramy niniejszej pracy i stanowi temat odrębnych opracowań.

## **3.2 Reprezentacja wiedzy w diagnostyce maszyn**

Za pracą [Cholewa, Pedrycz, 1987] autor będzie rozumiał pod pojęciem reprezentacji wiedzy ogólnie przyjęty i rozumiały formalizm zapisu oraz gromadzenia dowolnego fragmentu wiedzy, niezależnie od jej dziedziny”. Język takiego formalizmu powinien być na tyle prosty, aby rozumieli go nie tylko inżynierowie wiedzy, ale również specjaliści zaangażowani w przekazywanie wiedzy. Usprawniłoby to zarówno zapis wiedzy z użyciem programowych środków wspomagających proces pozyskiwania wiedzy, jak też późniejszą weryfikację zapisanej wiedzy. Wybór sposobu reprezentacji wiedzy jest zwykle uzależniony m.in. od takich czynników, jak [Cholewa, Pedrycz, 1987]:

- rodzaj wiedzy wymaganej dla poprawnego działania systemu doradczego,
- rodzaj dyscypliny, której wiedza ma być objęta zapisem,

- wymagana wielkość tworzonej bazy wiedzy, ze szczególnym zwróceniem uwagi na unikanie zbędnego zwiększania tej bazy.

Wymaga się, aby sposób reprezentacji wiedzy z danej dziedziny był prosty, kompletny (wyczerpujący), zwięzły, zrozumiały i wyraźny (tzn. nie zawierający elementów domyślnych i wieloznacznych) [Cholewa, Pedrycz, 1987]. Przed przyjęciem określonej metody reprezentacji wiedzy należy ustalić szczegóły dotyczące przedmiotu zapisu wiedzy. Ze względu na charakter wiedzy, można wyróżnić dwa sposoby jej reprezentacji:

- *reprezentacja proceduralna*, polegająca na określeniu zbioru procedur, które reprezentują wiedzę o danej dziedzinie,
- *reprezentacja deklaratywna*, polegająca np. na określaniu zbioru specyficznych dla rozpatrywanej dziedziny stwierdzeń (o faktach) oraz reguł określających relacje pomiędzy stwierdzeniami [Cholewa, Pedrycz, 1987].

Podział ten jest charakterystyczny dla wiedzy posiadanej przez specjalistę-diagnostę. Przykładowo: wiedza specjalisty dotycząca procedur postępowania, których celem jest otrzymanie wartości wybranych cech stanu technicznego maszyny, jest wiedzą nadającą się do reprezentacji w sposób proceduralny. Natomiast wiedza specjalisty dotycząca np. orzekania o stanie technicznym maszyny na podstawie znanych wartości cech sygnałów jest wiedzą nadającą się do reprezentacji w sposób deklaratywny. Oba te sposoby reprezentacji wiedzy mają swoje zalety i wady.

Zaletą proceduralnego sposobu reprezentacji wiedzy jest jego wysoka efektywność i łatwość interpretacji. Wadami zaś są: pewna trudność zapisu, trudności z ograniczeniem nadmiarowości oraz niedogodność modyfikacji baz wiedzy zawierających tak reprezentowaną wiedzę.

Przykładem może być sytuacja, gdzie usunięcie lub dodanie danego zadania może zakłócić porządek całej procedury.

Z kolei zaletami deklaratywnej reprezentacji wiedzy są: łatwiejsza jej formalizacja, „oszczędność” zapisu, a także łatwiejsza modyfikacja zawartości bazy wiedzy. Wadą zaś jest jej mała przydatność do zapisu wiedzy o procesach oraz o ciągach wykonywanych działań. Szczególnie jest to ważne w diagnostyce maszyn, gdzie często wymagane jest posiadanie informacji o kolejności wykonywania określonych działań. Według [Cholewa, Pedrycz, 1987], jako rozwiązanie optymalne

do budowy baz wiedzy należy przyjąć oba wspomniane sposoby reprezentacji wiedzy.

Szczegółowy problem badawczy podjęty przez autora polega na określeniu takich sposobów reprezentacji zarówno wiedzy deklaratywnej, jak i proceduralnej, które umożliwią wydzielenie z bazy wiedzy systemu doradczego bazy wiedzy deklaratywnej oraz proceduralnej.

W diagnostycznych systemach doradczych zwykle są stosowane następujące środki reprezentacji wiedzy<sup>15</sup>:

- stwierdzenia [Cholewa, Pedrycz, 1987] i stwierdzenia dynamiczne [Cholewa, 1996],
- sieci stwierżeń [Cholewa, Pedrycz, 1987] i sieci stwierżeń dynamicznych , [Cholewa, 1996],
- „ostre” i rozmyte reguły wnioskowania [Cholewa, Pedrycz, 1987],
- „ostre” i rozmyte reguły działania [Cholewa, Pedrycz, 1987],
- tablice decyzyjne reguł [Cholewa, Czogała, 1989],
- schematy blokowe [TARGET, 1992],
- hipertekst [Moczulski, 1994a],
- ramy [Cholewa, Pedrycz, 1987],
- drzewa decyzyjne [Quinlan, 1986],
- sieci neuronalne [Bolc, Zaremba, 1992], [Korbicz, 1994], [Tadeusiewicz, 1993].

Występują też mieszane środki zapisu wiedzy. W dalszej części zostaną przedstawione i omówione wybrane środki reprezentacji wiedzy, nadające się do reprezentacji wiedzy pozyskanej od specjalistów. Nie wszystkie bowiem sposoby reprezentacji mogą być zastosowane w procesie pozyskiwania wiedzy od specjalistów. Specjalista, przekazując swą wiedzę, czyni to zwykle w języku naturalnym. Środki (głównie programowe) wspomagające proces pozyskiwania wiedzy zwykle ograniczają jego swobodę wypowiedzi, co jest związane z przyjętym formalizmem pozyskiwania i reprezentacji wiedzy. Niemniej jednak w swoich wypowiedziach,

---

<sup>15</sup>bez uwzględnienia podziału na sposoby reprezentacji wiedzy

a także w swoich przemyśleniach specjalista używa, często nie uświadamiając sobie tego, różnych środków reprezentacji wiedzy.

Wybrane przez autora środki reprezentacji wiedzy nadające się do reprezentacji wiedzy pozyskiwanej od specjalistów zostały szczegółowo przedstawione w rozdziale 4. Stanowią one nieodłączne elementy opracowanych przez autora metod pozyskiwania wiedzy od specjalistów. Środkami tymi są: *stwierdzenia* [Cholewa, Pedrycz, 1987], *reguły* [Cholewa, Pedrycz, 1987], [Moczulski, 1997] oraz *wielowarstwowe schematy blokowe* [Wyleźoł, 1999].

## Rozdział 4

# Metody pozyskiwania wiedzy od specjalistów

W rozdziale tym przedstawiono opracowane i zastosowane przez autora metody pozyskiwania wiedzy diagnostycznej od specjalistów. Metody te uwzględniają podział wiedzy diagnostycznej na wiedzę proceduralną i deklaratywną [Cholewa, Pedrycz, 1987]. Mając na uwadze ten podział, w rozdziale tym zamieszczono również opis środków reprezentacji wiedzy, stosownych dla danej metody. Jak już wspomniano w rozdz. 1 i 2.3, głównym celem autora przy opracowaniu tych metod było ograniczenie roli inżyniera wiedzy w procesie pozyskiwania wiedzy od specjalistów. W szczególności dotyczy to stadium dokonywania zapisów reprezentujących wiedzę.

Dla efektywnej realizacji tego celu zdecydowano się na zastosowanie komputerowego wspomaganie procesu pozyskiwania wiedzy. Wspomaganie to polega na zastosowaniu specjalnie opracowanych programów komputerowych (rozdz.5.2, 5.3). Służą one realizacji opisanych dalej metod, głównie w zakresie dokonywania zapisów reprezentujących wiedzę.

Innym ważnym aspektem zastosowanego komputerowego wspomaganie jest rozwiązanie zagadnienia składowania pozyskanej wiedzy. Celowi temu służy zmodyfikowana przez autora baza danych i wiedzy *EMPREL* [Moczulski, 1997], nazywana *EMPREL-PDWP* (rozdz. 5.1 i dodatek A).

### 4.1 Pozyskiwanie procedur diagnostycznych

Zastosowanym środkiem reprezentacji wiedzy w tej metodzie są wielowarstwowe schematy blokowe (rozdz. 4.1.2). Są one zapisywane w dwóch postaciach:

- w postaci graficzno-tekstowej<sup>1</sup>, zapisywanej w plikach dyskowych, tworzonych przez program *PDWP*,
- w formacie określonym przez strukturę relacyjnej bazy danych, zapisywanej w plikach dyskowych, tworzonych przez bazę danych *MS Access*.

Aby umożliwić zapis procedur w powyższych postaciach, w metodzie tej wyodrębniono dwa — następujące po sobie — stadia (opisane dalej).

#### 4.1.1 Założenia

Aby realizacja opisywanej metody była możliwa, należy przyjąć następujące założenia:

- istnieją specjaliści z danej dziedziny diagnostyki maszyn, wykazujący chęć współpracy z inżynierem wiedzy,
- specjaliści zapoznają się ze sposobem formułowania procedur diagnostycznych (dodatek B) np. za pośrednictwem inżyniera wiedzy,
- specjaliści zapoznają się z instrukcją obsługi programu *PDWP* (ewentualne szkolenie w zakresie obsługi programu przeprowadza inżynier wiedzy),
- inżynier wiedzy w porozumieniu ze specjalistą określi dziedzinę, dla której zostaną sformułowane procedury.

Do oceny poprawności merytorycznej pozyskanych procedur nie przewidziano formalizmu, takiego jak do oceny reguł empirycznych (rozd. 4.2.4). Zdecydowano się na to z kilku powodów:

- jedna procedura diagnostyczna zwykle reprezentuje obszerniejszą wiedzę niż wiedza reprezentowana przez jedną regułę,
- złożoność danej procedury diagnostycznej (często składającej się z kilku podprocedur) powoduje trudność jej oceny; w szczególności zaś nasuwają się pytania: *Czy ocenie ma podlegać:*
  - poprawność kolejności występowania zadań procedury,
  - szczegółowość zapisu procedury, czyli liczba utworzonych podprocedur,

---

<sup>1</sup>Elementy procedury są reprezentowane za pomocą symboli graficznych (rozd. 4.1.2, które dla niektórych elementów procedury (np. zadanie), są rozbudowane o informacje tekstowe).



- *stopień szczegółowości zapisu danych zadań,*
  - *poprawność stosowania węzłów sterujących przebiegiem procedury?*
- intencją autora było pozyskanie procedur diagnostycznych obowiązujących dla wąskich dziedzin, a także stosowanych przez specjalistów w praktyce, co powinno zapewnić ich poprawność merytoryczną.

Możliwe jest jednak dokonanie ogólnej oceny poprawności merytorycznej pozyskanych procedur. Ocena taka w postaci tekstu, mogłaby być przechowywana w bazie danych i wiedzy wraz z procedurą.

### 4.1.2 Reprezentacja wiedzy za pomocą wielowarstwowych schematów blokowych

W tym punkcie przedstawiono *wielowarstwowe<sup>2</sup> schematy blokowe<sup>3</sup>*, które autor zastosował do reprezentacji wiedzy proceduralnej. W szczególności zostały one użyte do graficznej reprezentacji *procedur<sup>4</sup>*. Działanie procedur reprezentuje wiedzę o danej dziedzinie. Przykładowo: procedura dokonania pomiaru prędkości drgań względnych czopa wału w łożysku hydrodynamicznym reprezentuje wiedzę diagnostyczną o sposobie dokonywania wspomnianego pomiaru.

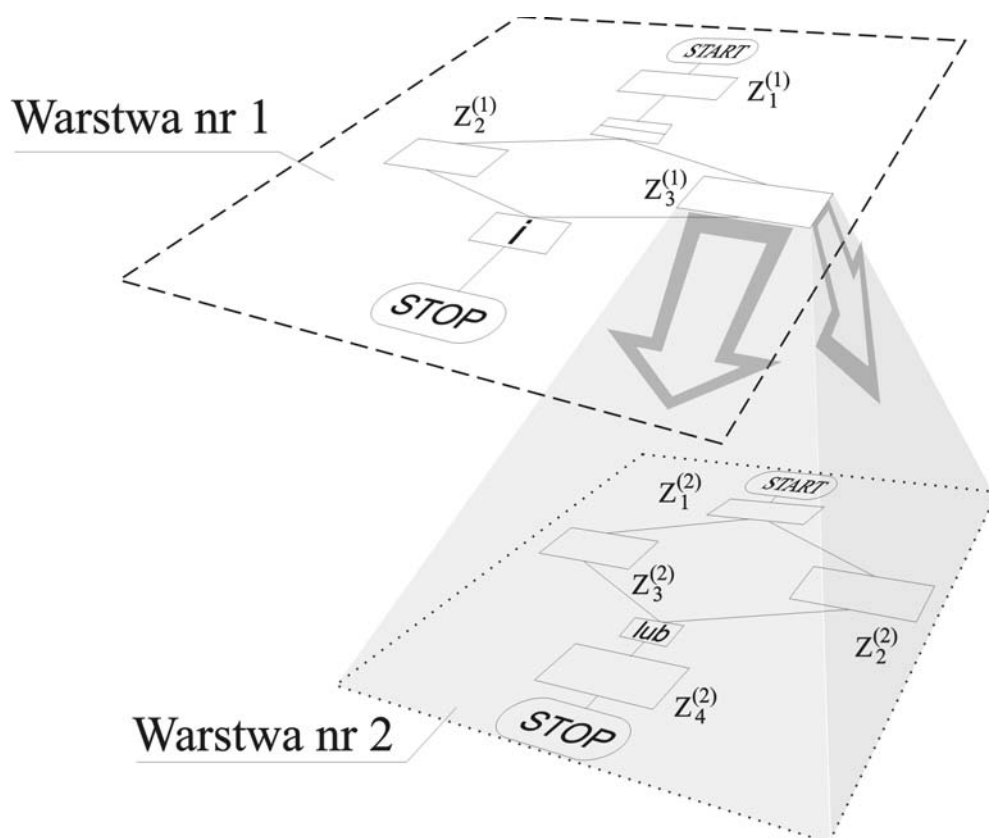
Istotą wielowarstwowych schematów blokowych jest zapis struktury procedury — zaczyna się od postaci najogólniejszej, tzn. zawierającej jedynie ogólnie sformułowane zadania podstawowe (występujące oczywiście w swoim logicznym porządku) i przechodzi do postaci zawierającej zadania bardziej uszczegółowione (rys. 4.1). Stopień szczegółowości zadań wcześniej zapisanych w sposób ogólny, wzrasta poprzez ich zapisanie również w postaci procedur (podprocedur). Zadania rozwijane od postaci ogólnych do postaci podprocedur są umieszczane na kolejnych warstwach szczegółowości. Warstwy te wyrażają kolejne stopnie uszczegółowienia danego zadania. Dzięki ich zastosowaniu zwiększa się dokładność opisu poszczególnych zadań, przy równoczesnym zachowaniu przejrzystości” zapisu całości procedury.

---

<sup>2</sup>Nazwa zaproponowana przez autora [Wyleżoł, 1999].

<sup>3</sup>Schemat blokowy — schemat graficzny systemu przetwarzania danych lub programu, w którym zadania, czynności i powiązania funkcjonalne są reprezentowane przez umowne symbole graficzne oraz komentarze umożliwiające łatwe zrozumienie ogólnej koncepcji rozwiązania systemu lub programu [PN-71/T-01016, 1971].

<sup>4</sup>Procedura — ciąg ogólnie lub szczegółowo zdefiniowanych zadań elementarnych, których zadany porządek (tj. następstwo, równoległość oraz warunkowa powtarzalność zadań) realizacji warunkuje osiągnięcie wcześniej zdefiniowanego celu.



Rysunek 4.1: Graficzna reprezentacja wielowarstwowych schematów blokowych [Wyleżoń, 1999]

Wielowarstwowe schematy blokowe — jako sposób reprezentacji wiedzy proceduralnej — wydają się być zgodne z metodą analizowania sposobu rozwiązywania danego zagadnienia diagnostycznego przez specjalistę. Rozwiązanie bowiem każdego problemu, w tym też takie, które może być sformalizowane do postaci szczegółowej procedury postępowania, zwykle zaczyna się analizą „od ogółu do szczegółu”.

W dalszej części rozdziału opisano elementy składowe, stosowane do reprezentacji wielowarstwowych schematów blokowych. Podstawowymi elementami są: *warstwy*, *zadania* oraz *węzły sterujące*.

### Warstwa

Warstwa stanowi wyodrębnioną logiczną płaszczyznę zawierającą zapis jednej procedury (podprocedury), przedstawionej na danym stopniu szczegółowości. Pełna procedura jest więc reprezentowana przez skończony zbiór takich warstw. Warstwy te są ze sobą logicznie powiązane. Jak pokazano na rys. 4.1 każda kolejna

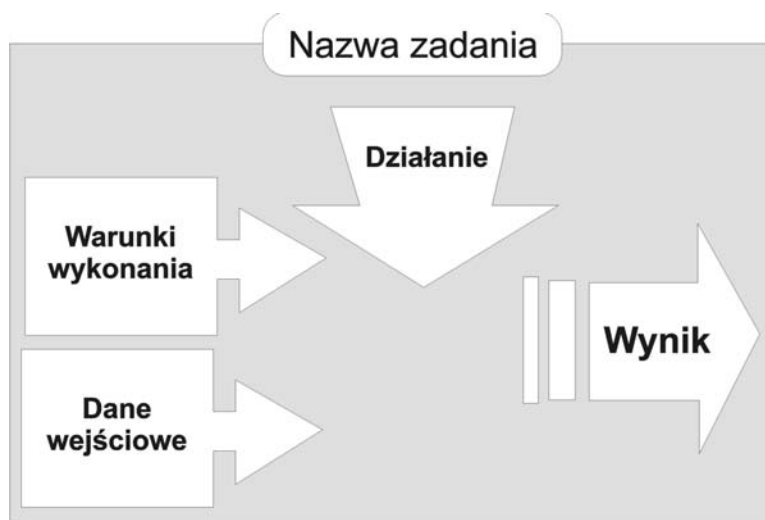
warstwa (z wyjątkiem pierwszej) zawiera zapis procedury (podprocedury) powstałej poprzez uszczegółowienie ogólnie zdefiniowanego wcześniej zadania, znajdującego się na osobnej warstwie, nadrzędnej do danej. Warstwa jest więc swego rodzaju reprezentantem względnego poziomu szczegółowości zapisu procedury.

### Zadanie

Zadanie (rys. 4.2) stanowi podstawowy element tworzący daną procedurę. Jego graficzną reprezentacją jest ramka w postaci prostokąta, zawierającego wewnątrz charakterystyczną dla niego *nazwę* (rys. 4.3).

Dla danego zadania zostały ponadto zdefiniowane:

- *dane wejściowe* — są to wszystkie wartości ilościowe lub jakościowe, których znajomość jest niezbędna do wykonania zadania,
- *warunki wykonania* — są to wszystkie czynniki, których pozytywne zaistnienie warunkuje możliwość wykonania zadania,
- *działanie* — stanowi opis czynności, które należy zrealizować w celu wykonania zadania,
- *wynik* — jest opisem spodziewanych rezultatów wykonania zadania.



Rysunek 4.2: Elementy tworzące zadanie

Zadanie, które zostało uszczegółowione do podprocedury, posiada nieco inny symbol graficzny (rys. 4.4). Zadanie takie będziemy nazywać zadaniem złożonym.



Rysunek 4.3: Symbol graficzny zadania



Rysunek 4.4: Symbol graficzny zadania złożonego

Wśród zadań elementarnych wyodrębniono dwa zadania „specjalne”, stanowiące początek oraz koniec każdej procedury (podprocedury). Ich symbolami graficznymi są elipsy zawierające ogólne napisy „Start” (rys. 4.5) i „Stop” (rys. 4.6). Mają one nieco inne cechy niż wcześniej opisane zadania. Dla „Startu” definiuje się *warunki wykonania procedury* i *dane wejściowe*. Natomiast dla „Stopu” definiuje się *warunek zakończenia procedury* oraz *oczekiwany wynik*.



Rysunek 4.5: Symbol graficzny zadania rozpoczęcia procedury



Rysunek 4.6: Symbol graficzny zadania zakończenia procedury

### Węzły sterujące

Zdefiniowano następujące węzły sterujące:

- *Węzeł równoległości* — węzeł ten służy do bezwarunkowego rozgałęzienia realizacji zadań procedury na zadania, które od tego miejsca powinny być wykonywane równoległe. Należy pod tym rozumieć jedną z poniższych możliwości:

- wykonywanie różnych zadań przez więcej niż jedną osobę w tym samym czasie,
- wykonywanie zadań, które nie muszą być wykonywane w tym samym czasie, ale warunki wejściowe ich wykonania są takie same.

Symbolem graficznym (rys. 4.7) jest prostokąt z poziomą linią pośrodku.



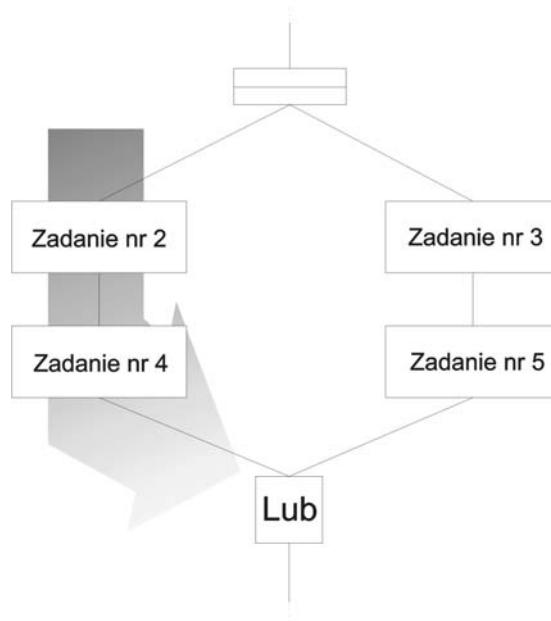
Rysunek 4.7: Symbol graficzny węzła równoległości

- *Węzeł alternatywy* — węzeł ten kończy tok zadań wykonywanych równoległe. Tok taki został zapoczątkowany przez *węzeł równoległości*. Wymogiem poprawnej realizacji procedury jest zrealizowanie wszystkich zadań, tworzących przynajmniej jedną ze ścieżek toku zadań równoległych (rys. 4.9, gdzie wskazano, że wykonanie zadań nr 2 i 4 jest wystarczające dla poprawnej realizacji procedury). Symbolem graficznym (rys. 4.8) jest kwadrat z umieszczonym wewnątrz słowem *lub* .



Rysunek 4.8: Symbol graficzny węzła alternatywy

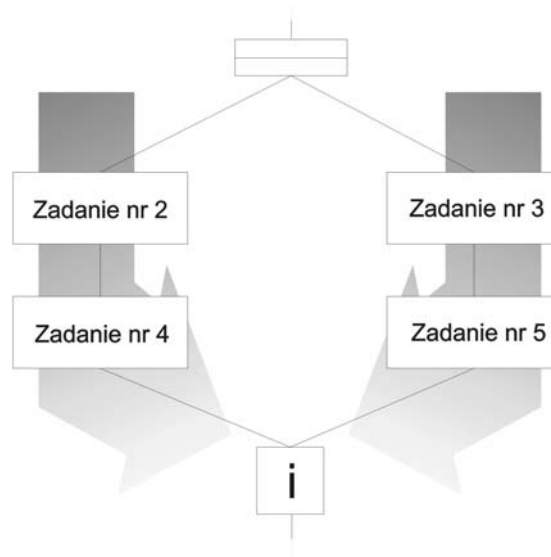
- *Węzeł koniunkcji* — węzeł ten kończy tok zadań wykonywanych równoległe. Tok taki został zapoczątkowany przez *węzeł równoległości*. Wymogiem poprawnej realizacji procedury jest zrealizowanie wszystkich zadań, tworzących wszystkie ścieżki toku zadań równoległych (rys. 4.11, gdzie wskazano, że wykonanie wszystkich zadań jest konieczne dla poprawnej realizacji procedury). Symbolem graficznym (rys. 4.10) jest kwadrat z umieszczoną wewnątrz literą *;* .
- *Węzeł wyboru* — rozgałęzia on warunkowo realizację zadań procedury. Posiada jedno wejście i dwa alternatywne wyjścia:
  - wyjście nazwane *NIE* — w razie niespełnienia postawionego wcześniej warunku,



Rysunek 4.9: Przykład fragmentu schematu procedury z węzłem alternatywy



Rysunek 4.10: Symbol graficzny węzła koniunkcji



Rysunek 4.11: Przykład fragmentu schematu procedury z węzłem koniunkcji

- wyjście nazwane „TAK” — w przypadku spełnienia postawionego wcześniej warunku.

Węzeł często inicjuje pętlę zwrotną. Symbolem graficznym (rys. 4.12) jest romb z umieszczonymi wewnątrz literami „T” i „N”.



Rysunek 4.12: Symbol graficzny węzła wyboru

Do budowy schematu blokowego procedury niezbędny jest jeszcze łącznik, będący odcinkiem linii prostej. Jego zadaniem jest łączenie poszczególnych elementów schematu procedury.

### 4.1.3 Stadium I — pozyskiwanie procedur od specjalistów

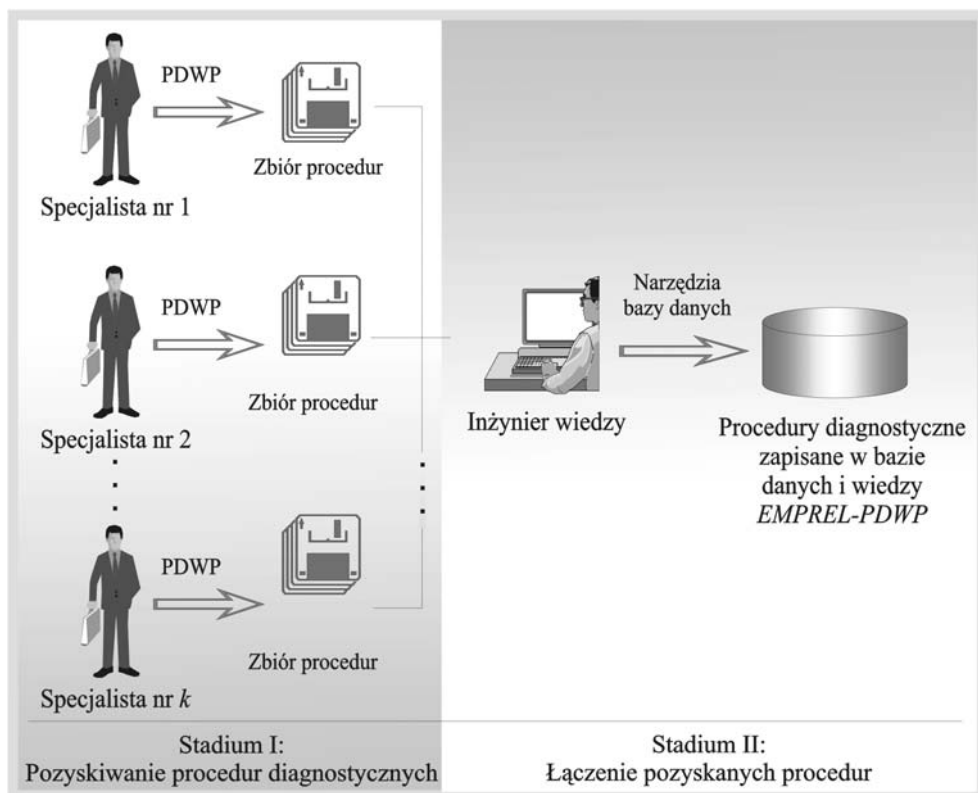
Celem tego stadium (rys. 4.13) jest otrzymanie zbioru procedur diagnostycznych, sformułowanych dla dziedziny (dziedzin) zainteresowania określonej przez inżyniera wiedzy. Główną rolę w tym stadium spełnia specjalista. On to dokonuje zapisów procedur z użyciem programu *PDWP*. Sposób formułowania procedury został opisany w dodatku B. Zadania inżyniera wiedzy w tym stadium mają charakter pomocniczy. Należą do nich: przedstawienie specjalistę dziedziny (dziedzin), dla której ma on zapisywać poszczególne procedury oraz wyjaśnienie sposobu posługiwania się programem *PDWP*.

Wynikiem zakończenia tego stadium jest zbiór plików dyskowych (zawierających zapisane procedury), utworzonych za pomocą programu *PDWP*.

### 4.1.4 Stadium II — łączenie pozyskanych procedur

Celami tego stadium (rys. 4.13) są: wykonanie konwersji pozyskanych procedur do postaci odpowiedniej dla przyjętej struktury relacyjnej bazy danych oraz zapis tych procedur w bazie wiedzy i danych *EMPREL-PDWP* (dodatek A).

Jedynym uczestnikiem tego stadium jest inżynier wiedzy. Główne zadania inżyniera wiedzy to:



Rysunek 4.13: Pozyskiwanie procedur diagnostycznych: stadium I i II

- sprawdzanie procedur pod względem poprawności ich zapisu zgodnie z wymaganiami programu *PDWP*,
- konwersja procedur z postaci graficzno-tekstowej<sup>5</sup> do postaci odpowiedniej dla przyjętej struktury relacyjnej bazy danych (dodatek A),

Wszystkie te działania wykonuje on z użyciem specjalnie przygotowanych formularzy (dodatek A.2).

Wynikiem zakończenia tego stadium jest baza wiedzy, zawierająca wszystkie pozyskane procedury.

<sup>5</sup>W jakiej to zapisywane są wielowarstwowe schematy blokowe w programie *PDWP*.



## 4.2 Pozyskiwanie reguł empirycznych z zastosowaniem formularza elektronicznego”

Metoda ta umożliwia pozyskiwanie wiedzy w sposób zgodny z modelem 2., opisanym w [Buchanan *et al.*, 1983]. Wiedza pozyskana tą metodą ma charakter deklaratywny. Środkiem reprezentacji wiedzy są reguły (rozdz. 4.2.2), do których budowy zastosowano stwierdzenia. Działania realizowane zgodnie z tą metodą podzielone są na dwa, następujące po sobie, stadia.

### 4.2.1 Założenia

Aby realizacja opisywanej metody była możliwa, należy przyjąć następujące założenia:

- istnieją specjaliści z dziedziny diagnostyki maszyn, wykazujący chęć współpracy z inżynierem wiedzy,
- specjaliści zapoznają się z procedurą formułowania reguł empirycznych (rozdz. 4.2.2 i [Moczulski, 1997]) np. za pośrednictwem inżyniera wiedzy,
- specjaliści zapoznają się z instrukcją obsługi programu *EMPREG 2* (ewentualne szkolenie w zakresie obsługi programu przeprowadza inżynier wiedzy),
- inżynier wiedzy w porozumieniu ze specjalistą określi dziedzinę, dla której zostaną sformułowane reguły.

### 4.2.2 Sposób reprezentacji reguł empirycznych

Pozyskana wiedza jest reprezentowana za pomocą reguł. Reguła jest środkiem reprezentacji wiedzy często stosowanym przez specjalistę. To właśnie regułami zwykle posługuje się on podczas procesu wnioskowania.

Oto zapis reguły:

$$\text{JEŻELI (przesłanka) TO (konkluzja)} \quad (4.1)$$

Dla potrzeb niniejszej pracy zapis taki jest jednak niewystarczający. Należy go znacznie rozwinąć. Poniższe rozważania zostały oparte na pracy [Moczulski, 1997].

Każda reguła jest utworzona dla określonej dziedziny, którą stanowi zbiór obiektów i/lub klas obiektów<sup>6</sup>, dla których będzie ona obowiązywać. W [Moczulski, 1997] przyjęto następujący ogólny zapis reguły:

$$(\forall o \in D(r)) [\text{JEŻELI } p(o) \text{ TO } q(o)] \quad (4.2)$$

gdzie:

$D(r)$  — dziedzina reguły,

$p(o)$  — przesłanka reguły,

$q(o)$  — konkluzja reguły.

Odnosnie do *przestrzeni dziedziny stosowalności reguły* należy przyjąć założenie, że jest ona ograniczona. Realizacją tego założenia jest określenie:

- skończonej liczby klas obiektów,
- skończonej liczby obiektów,
- skończonej liczby cech wejść, wyjść i stanów tych obiektów oraz wejść i wyjść, które będą obserwowane za pomocą sygnałów,
- skończonej liczby cech wejść, wyjść i stanów tych obiektów.

W pracy rozważane są wyłącznie reguły, które spełniają kryterium *relevancji*<sup>7</sup>.

Przesłanki reguł mogą być elementarne i złożone. Przesłankami elementarnymi są pojedyncze warunki elementarne. Przesłanki złożone są koniunkcjami wewnętrznych alternatyw warunków elementarnych. Przesłanki reguł zawierają warunki, utworzone dla cech danego obiektu, określonych dla obiektu  $o$ .

Warunek elementarny dla danej reguły  $r$  będzie określony następująco:

$$(\forall o \in D(r)) [\text{val}(a(o)) \propto \text{eterm}(a)] \quad (4.3)$$

gdzie:

<sup>6</sup>Do jednej klasy obiektów należą wszystkie obiekty, dla których można określić wspólny zbiór cech [Moczulski, 1997].

<sup>7</sup>Kryterium to oznacza, że warunkiem koniecznym, by reguła była spełniona, jest, by istniało powiązanie znaczeniowe pomiędzy przesłanką i konkluzją (tj. by poprzednik zdania warunkowego nadawał się na przesłankę dla następnika tego zdania) [Moczulski, 1997].

- $val(a(o))$  — wartość atrybutu  $a$  dla obiektu  $o$  (elementarny term funkcyjny),
- $\alpha$  — operator relacji, spełniający warunek:  $\alpha \in \{=, \neq, <, \leq, >, \geq\}$ ,
- $eterm(a)$  — wartość atrybutu  $a$  (term elementarny — stała).

Do opisu prawej strony warunku (4.3) stosuje się także termy złożone, które są wewnętrznymi alternatywami termów elementarnych:

$$Term(a) = eterm_1(a) \vee eterm_2(a) \vee \dots \vee eterm_n(a) \quad (4.4)$$

Jeśli zaś  $a$  jest atrybutem o dziedzinie uporządkowanej liniowo,  $eterm_i(a) = v_i$ ,  $i=1, \dots, n$  oraz  $v_1 < v_2 < \dots < v_n$  są kolejnymi wartościami, zamiast zapisu, jak w (4.4), będziemy stosować zapis następujący:

$$Term(a) = eterm_1(a) .. eterm_n(a) \quad (4.5)$$

Warunki o postaci:

$$(\forall o \in D(r)) [val(a(o)) \alpha Term(a)] \quad (4.6)$$

będziemy nazywali *warunkami prostymi* lub *selektorami* [Michalski, 1983]. Natomiast koniunkcję warunków prostych wg (4.6):

$$(\forall o \in D(r)) [val(a_1(o)) \alpha_1 Term_1(a_1)] \wedge \\ \wedge [val(a_2(o)) \alpha_2 Term_2(a_2)] \wedge \dots \wedge [val(a_n(o)) \alpha_n Term_n(a_n)] \quad (4.7)$$

będziemy nazywali *warunkiem złożonym* (lub *kompleksem* [Michalski, 1983]). Widzimy więc, że w ten sposób można otrzymywać reguły o rozbudowanych przesłankach.

Konkluzją reguły będzie pojedyncze stwierdzenie<sup>8</sup> ostre lub przybliżone. Stwierdzenie ostre jest zapisywane następująco:

$$\langle o, a, w \rangle = (\langle obiekt \rangle, \langle atrybut \rangle, \langle wartość \rangle) \quad (4.8)$$

Powyższy zapis należy rozumieć jako skrót zdania: „obiektowi  $\langle OBIEKT \rangle$  przysługuje atrybut  $\langle ATRYBUT \rangle$  o wartości  $\langle WARTOŚĆ \rangle$ ”. Obiektem wskazanym

<sup>8</sup>Pojęcie *stwierdzenia* często mylone jest z pojęciem *faktu*. Za [Cholewa, Pedrycz, 1987], należy wrócić uwagę na istotną właściwość stwierdzenia, które może być orzeczeniem o obiektywnie zachodzącym fakcie.

przez nazwę  $\langle OBIEKT \rangle$  może być dowolny konkret (np. maszyna) lub abstrakt (np. pojęcie). Atrybut (a w szczególności jego nazwa) jest tym, co wyróżnia dany obiekt spośród innych obiektów. Atrybut jest określony poprzez swoją wartość. Może ona być np. liczbą, nazwą czy pojęciem.

**Przykład:** prędkość obrotowa wału wynosi 60 1/min”. *Prędkość obrotowa*” jest tu atrybutem, *wał*” jest obiektem a *60 1/min*” to wartość atrybutu.

Zapis stwierdzenia przybliżonego [Cholewa, Pedrycz, 1987] jest bardziej rozbudowany:

$$\langle o, a, v, sp \rangle = (\langle obiekt \rangle, \langle atrybut \rangle, \langle wartość \rangle, \langle stopień pewności \rangle) \quad (4.9)$$

Przykłady reguł diagnostycznych o formacie zgodnym z wyżej opisanym są zamieszczone w rozdz. 6.2.4.

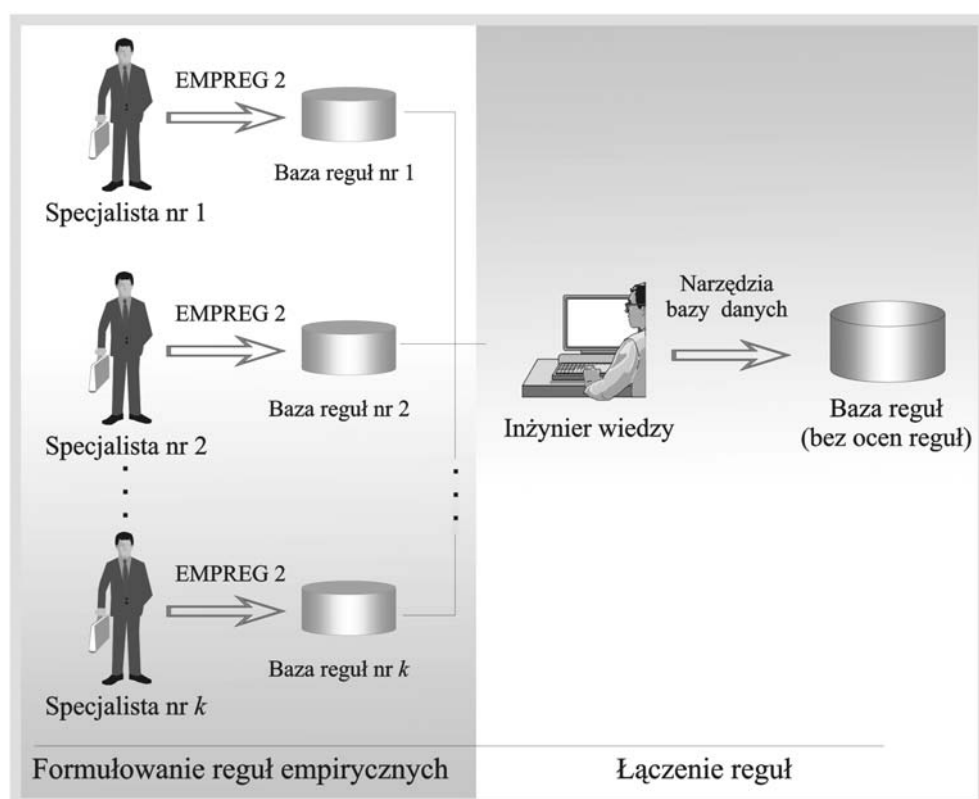
### 4.2.3 Stadium I — pozyskiwanie reguł od specjalistów

Celem tego stadium (rys. 4.14) jest pozyskanie reguł empirycznych od specjalistów oraz ich zapisanie w tymczasowej bazie reguł. Dominującą rolę spełnia tu specjalista. Aby wspomniany cel osiągnąć, posługuje się on edytorem bazy wiedzy, zwanym *formularzem elektronicznym*” [Moczulski, 1997] (opis w rozdz. 5.3). Zadania związane z formułowaniem reguły, wykonywane przez specjalistę, są związane wyłącznie z obsługą formularza elektronicznego”.

Algorytm formułowania reguły jest następujący [Moczulski, 1997]<sup>9</sup>:

1. *Określenie dziedziny reguły* z użyciem elementów odpowiednich słowników nazw obiektów i nazw klas obiektów (z możliwością uzupełnienia obu tych słowników).
2. *Określenie konkluzji reguły* z użyciem elementów odpowiednich słowników nazw cech, ich wartości jakościowych oraz operatorów relacji (z możliwością uzupełnienia słowników nazw cech i słowników wartości cech).
3. *Określenie warunku prostego przesłanki reguły* (rozdz. 4.2.2) z użyciem elementów odpowiednich słowników nazw cech, ich wartości jakościowych oraz operatorów relacji (z możliwością uzupełnienia słowników nazw cech i ich wartości).

<sup>9</sup>Przykład formułowania reguły jest zamieszczony w dodatku C.



Rysunek 4.14: Pozyskiwanie reguł empirycznych — stadium I

4. Jeśli przesłanka reguły ma zawierać dalsze warunki proste połączone operatorem koniunkcji — należy wrócić do punktu 3.

Rola inżyniera wiedzy ogranicza się w tym stadium do następujących działań:

- dołączanie reguł pochodzących od różnych specjalistów do jednej wspólnej bazy reguł,
- usuwanie błędów edycyjnych w słownikach nazw cech, nazw wartości itp.,
- tworzenie słowników synonimów,
- poprawianie i usuwanie<sup>10</sup> nieprawidłowo zapisanych reguł.

Wynikiem zakończenia tego stadium pozyskiwania wiedzy jest tymczasowa baza reguł. Reguły zawarte w bazie w zasadzie nie są jeszcze przeznaczone do ich użycia w bazie wiedzy systemu doradczego. Umożliwi to dopiero zakończenie wykonania następnego stadium pozyskiwania wiedzy.

<sup>10</sup>W porozumieniu z autorem reguły.

#### 4.2.4 Stadium II — ocenianie reguł przez specjalistów

Celem tego stadium (rys. 4.15) jest uzyskanie zobiektywizowanych ocen reguł. Aby cel ten osiągnąć, pozyskane wcześniej reguły, pochodzące od różnych specjalistów, podlegają ocenie. Reguły są oceniane również przez specjalistów, którzy nie są autorami ocenianych reguł. Autor danej reguły nie powinien oceniać jej, gdyż subiektywnie formułując regułę, stara się zawsze wykonać to poprawnie<sup>11</sup>. Inną sytuacją jest, gdy celowe jest utworzenie reguł niepoprawnych merytorycznie, mających zastosowanie np. do testowania poprawności wnioskowania systemu doradczego.

Aby ułatwić specjalistę wyrażenie jego przekonania o słuszności reguł, określono nieliczny zbiór wartości jakościowych o charakterze lingwistycznym. Wartości te nazwano *stopniami przekonania o słuszności reguły* [Moczulski, 1997] (tab. 4.1).

Tabela 4.1: Przedziały zmienności wartości stopni przekonania o słuszności reguły (na podstawie [Moczulski, 1997])

Nazwa stopnia przekonania	N(r)	P(r)
Nie mam zdania	0,00	1,00
Całkowicie się zgadzam	1,00	1,00
Prawie na pewno się zgadzam	0,75	1,00
Raczej się zgadzam	0,55	1,00
Raczej się nie zgadzam	0,00	0,45
Prawie na pewno się nie zgadzam	0,00	0,25
Zupełnie się nie zgadzam	0,00	0,00

Oznaczenia występujące w tabeli:

- $N(r)$  — miara *stopnia konieczności* [Zadeh, 1965], [Cholewa, Pedrycz, 1987],
- $P(r)$  — miara *stopnia możliwości* [Zadeh, 1965], [Cholewa, Pedrycz, 1987].

Wyszczególnione oceny pozwalają specjalistę na wyrażenie nie tylko swojego stopnia przekonania lub nieprzekonania do słuszności danej reguły, ale również umożliwiają wyrażenie swego niezdecydowania (*„Nie mam zdania”*). Poprawne

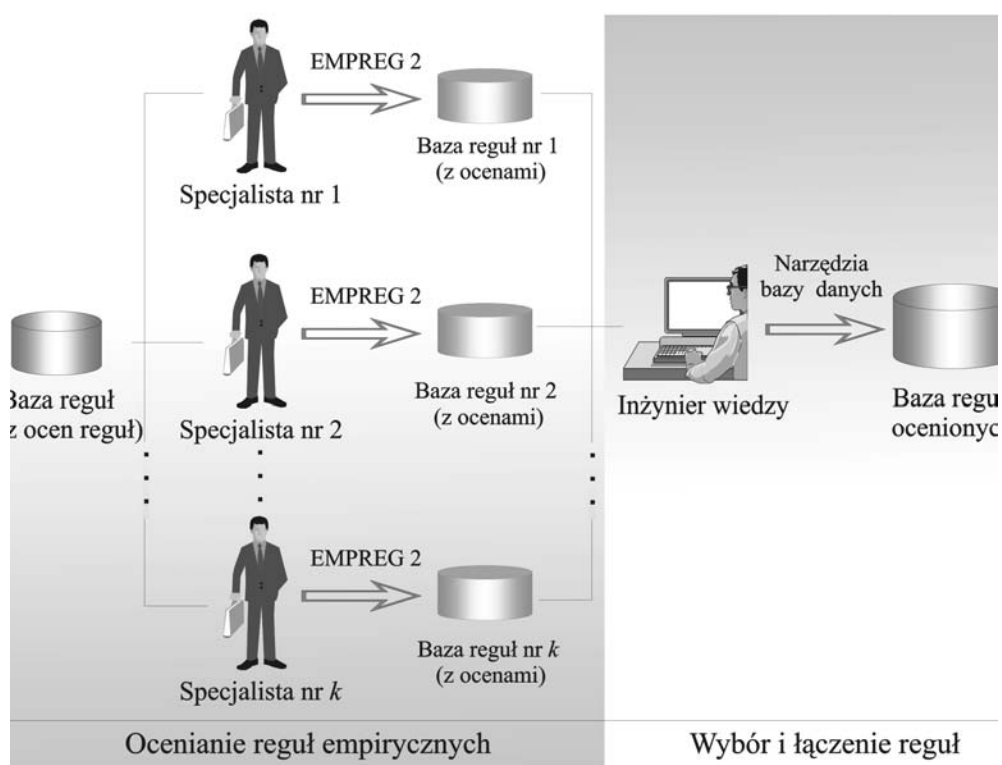
<sup>11</sup>Nie znaczy to wcale, że reguła taka zawsze musi być obiektywnie poprawna.

dokonanie oceny reguły może nastąpić wyłącznie przy założeniu, że specjalista zrozumiał każdą z ocenianych reguł, przed dokonaniem oceny.

Możliwa jest do pomyślenia sytuacja, gdy specjalista nie zrozumiał treści reguły. Należałoby wtedy użyć takich wartości stopni przekonania o słuszności reguły, jak: *„Nie rozumiem treści reguły”* lub *„Przesłanka nie pasuje do konkluzji”*. Nie oceniają one jednak reguły, bo ich podstawą jest niezrozumienie treści reguły przez specjalistę. Nie byłyby więc uznawane za ocenę, ale traktowane jako jej brak<sup>12</sup>.

Ocenianie reguł w ramach przeprowadzonych badań odbywało się również z użyciem programu *EMPREG 2* (rozdz. C).

Przypisanie każdej regule więcej niż jednej oceny, wiąże się z potrzebą łączenia opinii grupy specjalistów. Wykonanie tego zadania należy do inżyniera wiedzy.



Rysunek 4.15: Pozyskiwanie reguł — stadium II

<sup>12</sup>Ewentualnie takie stopnie można by traktować jako ocenę innych — niż rozpatrywane dotychczas — własności reguły.

### Łączenie opinii specjalistów

Jeśli zgromadzono więcej niż jedną ocenę stopnia przekonania (o słuszności danej reguły), co ma miejsce w wypadku oceny reguł przez kilku specjalistów, pojawia się potrzeba połączenia tych opinii. W pracy [Cholewa, 1997] zaproponowano specjalny operator *łączenia stopni przekonania*, zwany również *operatorem agregacji*. Stosowany jest on do wartości miary  $NP(r)$  dla reguły  $r$ :

$$NP_{ag}(r) = \frac{w(r) \cdot NP(r) + w_{ex} \cdot B_{ex}(r)}{w(r) + w_{ex}}, \quad (4.10)$$

gdzie:

- $w(r)$  — waga przypisana stopniowi przekonania reguły zapisanej w bazie wiedzy, która jest przedmiotem oceny (może być uzależniona od źródła reguły, np. od renomy specjalisty — autora tej reguły),
- $w_{ex}$  — waga przypisywana opiniom danej osoby oceniającej reguły w bazie wiedzy,
- $B_{ex}(r)$  — wartość stopnia przekonania przypisana regule przez oceniającego ją specjalistę (tab. 4.1).
- $NP(r)$  — dotychczasowa wartość stopnia przekonania przypisana ocenionej regule (być może skutek agregacji wielu opinii), obliczana według zależności:

$$NP(r) = \frac{N(r) + P(r)}{2} \quad (4.11)$$

Istotnym zagadnieniem jest wybór wartości początkowych wag  $w(r)$ . Według [Cholewa, 1997] zaleca się np. przyjmować  $w(r) = 1$ .

Zdaniem autora stosowanie powyższego *operatora agregacji* jest dosyć trudne. Wynika to m.in. z braku jednoznacznych wytycznych dotyczących sposobu wyboru wag przypisywanych opiniom danej osoby oceniającej regułę<sup>13</sup>.

Autor zaproponował zastosowanie *operatora agregacji ocen specjalistów* dla zbioru ocen danej reguły. Otrzymywane oceny reguł za pomocą tego operatora są oparte na wyżej wspomnianych *stopniach przekonania o słuszności reguły* (tab. 4.1). Operator ten jest opisany zależnością:

$$NP_{agos}(r) = \sum_{i=1}^m w(n, k_i) \cdot NP_i(r) \quad (4.12)$$

<sup>13</sup>Przykładowy problem: *Czy większą wagę przypisać pracownikowi utrzymania ruchu, obsługującemu daną turbinę czy też pracownikowi naukowemu, który brał udział w jej konstruowaniu?*



gdzie:

$NP_i(r)$  — stopień przekonania o słuszności reguły, obliczany z zależności 4.11, gdzie poszczególne wartości  $N(r)$  i  $P(r)$  pochodzą z tab. 4.1,  
 $w(n, k_i)$  — częstotliwość wystąpienia danej wartości  $NP(r)$ , obliczana jako:

$$w(n, k_i) = \frac{k_i}{n}, \quad (4.13)$$

gdzie:

$k_i$  — liczność  $i$ -tej wartości  $NP(r)$ ,

$n$  — łączna liczba ocen danej reguły.

Oceny reguł otrzymane przez zastosowanie powyższego operatora agregacji ocen specjalistów mieszczą się w przedziale  $0 \leq NP_{agos}(r) \leq 1$ .

Ideą zastosowania takiego operatora było:

- uniezależnienie oceny reguły od renomy osoby oceniającej, trudnej do jednoznacznego określenia,
- „wzmacnianie” lub „osłabianie” oceny reguły w zależności wyłącznie od przypisanych jej wartości stopni przekonania o słuszności reguły.

Poniżej przedstawiono przykładowe oceny reguł otrzymane za pomocą opisywanego operatora agregacji dla ocen sześciu reguł<sup>14</sup>.

Oznaczenia w tabelach są zgodne z oznaczeniami we wzorach (4.10), (4.11), (4.12) i (4.13).

---

<sup>14</sup>Przedstawione oceny są wynikiem symulacji autora, wykonanej wyłącznie dla potrzeb wykazania „reakcji” operatora agregacji na możliwe oceny reguł. W przypadku każdej z reguł przyjęto, że oceniało ją dziesięciu specjalistów. Treść reguł nie została przedstawiona.

Tabela 4.2: Otrzymana ocena reguły za pomocą *operatora agregacji ocen specjalistów* w przypadku wystąpienia wyłącznie ocen *Całkowicie się zgadzam*”

Jakościowy wynik oceny reguły $r$	$NP(r)$	$k$
Nie mam zdania	0,500	10
Całkowicie się zgadzam	1,000	
Prawie na pewno się zgadzam	0,875	
Raczej się zgadzam	0,775	
Raczej się nie zgadzam	0,225	
Prawie na pewno się nie zgadzam	0,125	
Zupełnie się nie zgadzam	0,000	
	$NP_{agos}(r)$	1,000

Tabela 4.3: Otrzymana ocena reguły za pomocą *operatora agregacji ocen specjalistów* w przypadku wystąpienia wyłącznie ocen *Zupełnie się nie zgadzam*”

Jakościowy wynik oceny reguły $r$	$NP(r)$	$k$
Nie mam zdania	0,500	10
Całkowicie się zgadzam	1,000	
Prawie na pewno się zgadzam	0,875	
Raczej się zgadzam	0,775	
Raczej się nie zgadzam	0,225	
Prawie na pewno się nie zgadzam	0,125	
Zupełnie się nie zgadzam	0,000	
	$NP_{agos}(r)$	0,000

Tabela 4.4: Otrzymana ocena reguły za pomocą *operatora agregacji ocen specjalistów* w przypadku dużej przewagi ocen pozytywnych

Jakościowy wynik oceny reguły $r$	$NP(r)$	$k$
Nie mam zdania	0,500	2
Całkowicie się zgadzam	1,000	5
Prawie na pewno się zgadzam	0,875	2
Raczej się zgadzam	0,775	1
Raczej się nie zgadzam	0,225	
Prawie na pewno się nie zgadzam	0,125	
Zupełnie się nie zgadzam	0,000	
	$NP_{agos}(r)$	0,852

Tabela 4.5: Otrzymana ocena reguły za pomocą *operatora agregacji ocen specjalistów* w przypadku niewielkiej przewagi ocen pozytywnych

Jakościowy wynik oceny reguły $r$	$NP(r)$	$k$
Nie mam zdania	0,500	2
Całkowicie się zgadzam	1,000	2
Prawie na pewno się zgadzam	0,875	2
Raczej się zgadzam	0,775	3
Raczej się nie zgadzam	0,225	1
Prawie na pewno się nie zgadzam	0,125	
Zupełnie się nie zgadzam	0,000	
	$NP_{agos}(r)$	0,730

Tabela 4.6: Otrzymana ocena reguły za pomocą *operatora agregacji ocen specjalistów* w przypadku przewagi ocen negatywnych

Jakościowy wynik oceny reguły $r$	$NP(r)$	$k$
Nie mam zdania	0,500	1
Całkowicie się zgadzam	1,000	
Prawie na pewno się zgadzam	0,875	
Raczej się zgadzam	0,775	1
Raczej się nie zgadzam	0,225	3
Prawie na pewno się nie zgadzam	0,125	1
Zupełnie się nie zgadzam	0,000	4
	$NP_{agos}(r)$	0,207

Tabela 4.7: Otrzymana ocena reguły za pomocą *operatora agregacji ocen specjalistów* w przypadku braku zdecydowania specjalisty

Jakościowy wynik oceny reguły $r$	$NP(r)$	$k$
Nie mam zdania	0,500	2
Całkowicie się zgadzam	1,000	1
Prawie na pewno się zgadzam	0,875	1
Raczej się zgadzam	0,775	2
Raczej się nie zgadzam	0,225	2
Prawie na pewno się nie zgadzam	0,125	1
Zupełnie się nie zgadzam	0,000	1
	$NP_{agos}(r)$	0,500

Analizując tabele (4.2 do 4.7), można zauważyć, że dla reguł ocenionych pozytywnie, oceny reguł są względnie wysokie. Pozwala to wnioskować o poprawności merytorycznej tych reguł. Niskie oceny danej reguły mogą świadczyć zarówno o braku jej merytorycznej poprawności, jak i o wystąpieniu reguły stanowiącej wyjątek od ogólnie znanej wiedzy (zob. reguła R5 w tab. 6.1 na s. 102). Reguła taka również powinna znaleźć się w bazie wiedzy.

Użytkownik systemu doradczego, którego baza wiedzy będzie zawierała tak ocenione reguły, powinien mieć możliwość wglądu do tych ocen po zakończeniu procesu wnioskowania. Porównując jakość” konkluzji dostarczanych przez system doradczy z ogólnie znaną wiedzą, może dojść np. do wniosku, że oceny danej reguły są za niskie lub za wysokie, a więc wnioski dostarczane przez system doradczy są błędne. Informacja o takiej sytuacji powinna być przekazana inżynierowi wiedzy, wtedy powinna nastąpić korekta oceny takiej reguły.

Sposób postępowania związany ze zmianą oceny wskazanej reguły powinien podlegać osobnej formalizacji. Rozwiązanie tego problemu wykracza jednak poza cel badań autora.

Oceny reguł otrzymane za pomocą operatora agregacji ocen specjalistów  $NP_{agos}(r)$  i wartości stopni przekonania o słuszności reguły  $NP(r)$  spełniają następujący warunek:

$$NP(r), NP_{agos}(r) \in \langle 0, 1 \rangle \quad (4.14)$$

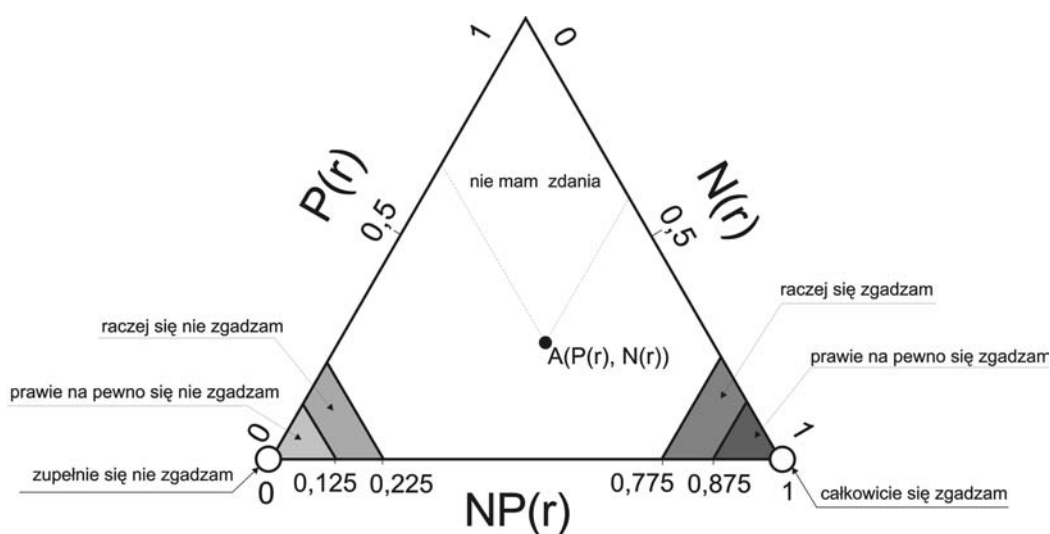
Na rys. 4.16 (na podst. [Cholewa, Kaźmierczak, 1995]) widać obszary przyjmowania wartości przez poszczególne stopnie przekonania o słuszności reguły  $NP(r)$ , w zależności od przyjętych dla nich przedziałów miar wartości stopni konieczności  $N(r)$  oraz możliwości  $P(r)$ .

Według przyjętej w [Cholewa, 1997] koncepcji, w przypadku pozytywnych ocen reguły — stopnie możliwości przyjmują zawsze wartość  $P(r) = 1$ , a stopnie konieczności przyjmują wartości z przedziału  $1 \geq N(r) > 0$ . W przypadku zaś ocen negatywnych — stopnie konieczności przyjmują zawsze wartość  $N(r) = 0$ , natomiast stopnie możliwości przyjmują wartości z przedziału  $1 > P(r) \geq 0$ .

W związku z powyższym, wszystkie wartości  $NP(r)$  (uzyskane zgodnie z zależnością 4.11) występują wyłącznie na podstawie trójkąta. Na podstawie zależności 4.12 oraz 4.14, można na podstawie trójkąta nanieść również oceny reguł otrzymane za pomocą operatora agregacji ocen specjalistów  $NP_{agos}(r)$ . Tym sposobem, znając oceny  $NP_{agos}(r)$  (tab. 4.2 do 4.7) można — poruszając się wzdłuż

linii wznoszących się<sup>15</sup> — odnaleźć odpowiadające im obszary, ograniczone wartościami miar  $N(r)$  i  $P(r)$ . Dzięki temu można ocenie ilościowej  $NP_{agos}(r)$  przypisać ocenę jakościową (lingwistyczną), według tab. 4.1.

W ogólnym przypadku odwzorowanie to będzie dokładne co do szerokości pasma danego obszaru (obszary o różnym natężeniu zaciemnienia na rys. 4.16). W przypadku zaś, gdy wszystkie oceny danej reguły będą identyczne, odwzorowanie to będzie dokładne co do konkretnej wartości.



Rysunek 4.16: Wykres wartości stopni przekonania o słuszności reguły, na podst. [Cholewa, Kaźmierczak, 1995]

Obszary przyjmowania wartości stopni przekonania o słuszności reguły są przyjęte *a priori*. W związku z tym sposób ich określania może podlegać osobnej dyskusji. Ewentualna zmiana tych wartości powinna nastąpić w wyniku wykonanej walidacji systemu doradczego. System ten powinien posiadać bazę wiedzy utworzoną z reguł, którym przyporządkowano wartości stopni  $NP_{agos}(r)$ , zgodnie z obecnie zaproponowanymi miarami wartości stopni  $N(r)$  i  $P(r)$ .

<sup>15</sup>Uwaga: położenia danego punktu (punkt A na rys. 4.16) wewnątrz obszaru trójkąta, mającego współrzędne  $P(r)$ ,  $N(r)$ , nie określa się według układu prostokątnego!

## Rozdział 5

# Środki wspomagania procesu pozyskiwania wiedzy diagnostycznej

W rozdziale tym przedstawiono zastosowane przez autora środki wspomagające proces pozyskiwania wiedzy diagnostycznej od specjalistów. Zwrócono szczególną uwagę na ich cechy decydujące o przydatności do wspomagania wspomnianego procesu. Posłużyły one również do weryfikacji sformułowanych przez autora tez.

### 5.1 Baza danych i wiedzy do reprezentacji wielowarstwowych schematów blokowych

Zastosowanie edytora wielowarstwowych schematów blokowych umożliwia pozyskiwanie wiedzy proceduralnej. Tak pozyskana wiedza jest reprezentowana w sposób graficzno-tekstowy. Wiedza reprezentowana w taki sposób nie nadaje się jednak bezpośrednio do utworzenia bazy wiedzy systemu doradczego.

Aby umożliwić zastosowanie w systemie doradczym wiedzy reprezentowanej w wyżej wspomniany sposób, opracowano alternatywny środek reprezentacji wiedzy.

Wiedza proceduralna — wcześniej pozyskana i zapisana w postaci wielowarstwowych schematów blokowych — zostaje zapisana w relacyjnej bazie danych o odpowiedniej strukturze. Zapis taki daje większe możliwości późniejszego przetwarzania zapisanej wiedzy. Uniwersalność takiego zapisu polega na tym, że do rekordów zawartych w bazie danych istnieje dostęp „z zewnątrz”, np. poprzez

(starszy już) standard połączenia ODBC (zob. 5.3.2) lub nowo powstały standard połączenia ADO (ang. *ActiveX Data Objects*).

Takie rozwiązanie ułatwia opracowanie aplikacji, za pomocą której będzie można dokonywać konwersji zapisów reprezentujących wiedzę w bazie do postaci aktualnie wymaganej, zależnie od specyficznej organizacji i struktury bazy wiedzy konkretnego systemu doradczego. W niektórych środowiskach baz danych, np. *MS Access*, możliwe też jest napisanie odpowiednich modułów, z użyciem wbudowanego języka programowania tego środowiska baz danych, których działanie będzie polegało również na wspomnianej konwersji.

## 5.2 Edytor wielowarstwowych schematów blokowych *PDWP*

### 5.2.1 Istota rozwiązania

Program *PDWP* (rys. 5.1) jest edytorem wielowarstwowych schematów blokowych, za pomocą których reprezentowana jest diagnostyczna wiedza proceduralna. Użytkownik, mając do dyspozycji specjalnie przygotowane symbole graficzne oraz okna dialogowe programu, może tworzyć wielowarstwowe schematy blokowe, a następnie zapisywać wyniki swojej pracy w plikach. Ekran główny programu jest podzielony na część graficzną i tekstową. Podział taki ułatwia użytkownikowi analizę utworzonej procedury<sup>1</sup>, ułatwia dokonywanie ewentualnych zmian oraz może służyć do oceny merytorycznej poprawności procedur (s. 49).

### 5.2.2 Ogólny opis programu *PDWP*

Głównym przeznaczeniem programu jest wspomaganie procesu pozyskiwania diagnostycznej wiedzy proceduralnej od specjalistów. Możliwe są następujące sposoby jego stosowania:

- zapisywanie procedur diagnostycznych bezpośrednio przez specjalistę,
- zapisywanie procedur diagnostycznych przez inżyniera wiedzy przy aktywnym udziale specjalisty,

---

<sup>1</sup>Użytkownik, nie będący twórcą danej procedury, może w ten sposób stosować program *PDWP* jako pomocne narzędzie do poznania wcześniej zapisanych procedur diagnostycznych.



- zapisywanie procedur diagnostycznych przez inżyniera wiedzy, obserwującego pracę specjalisty, tj. przy jego biernym udziale (niezbędne jest tu wcześniejsze umówienie się ze specjalistą, aby komentował we właściwy sposób swoje działania),
- analizowanie przez użytkownika zapisanych procedur w celu dokładnego zapoznania się z nimi, np. jako forma uczenia się.

Aplikacja ta wymaga 32 – bitowego systemu operacyjnego, np. *MS Windows 9x* lub *MS Windows NT*. W związku z tym, że wymienione systemy operacyjne są systemami graficznymi, program posiada wszystkie charakterystyczne cechy tych systemów.

### 5.2.3 Opis sposobu komunikacji pomiędzy programem a użytkownikiem

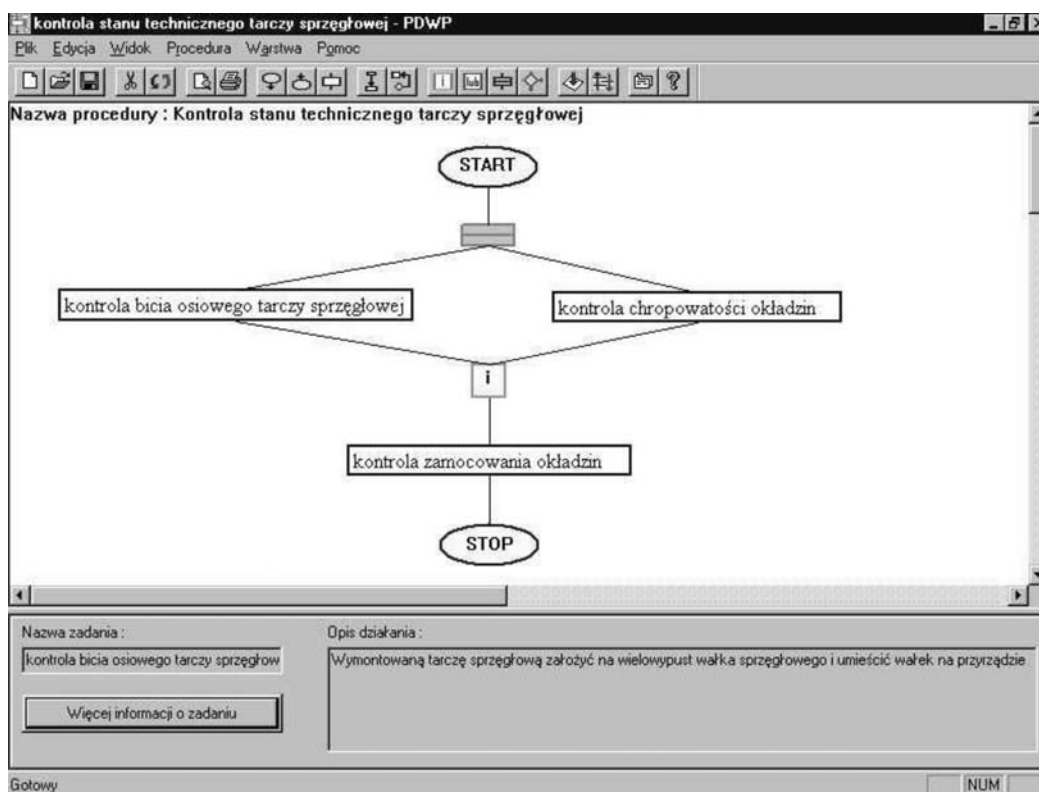
Jednym z najważniejszych kryteriów, jakie przyjęto w fazie projektowania omawianego programu, było opracowanie na tyle przyjaznych procedur umożliwiających dialog użytkownika z programem, aby dany specjalista mógł swobodnie nim się posługiwać. Z tego też powodu położono szczególny nacisk — podczas projektowania i wykonywania tej aplikacji — na opracowanie elementów graficznych aplikacji. Elementom graficznym towarzyszą również okna dialogowe. Służą one głównie do formułowania poszczególnych elementów procedury.

Okno główne aplikacji jest podzielone na dwie części: część graficzną” oraz część tekstową”. W części graficznej” widoczne są symbole graficzne reprezentujące elementy składowe procedur. W części tekstowej” użytkownik ma do dyspozycji okna tekstowe. W nich może przeglądać teksty będące uzupełnieniem symboli graficznych, a także będące integralnym elementem zastosowanej metody reprezentacji wiedzy.

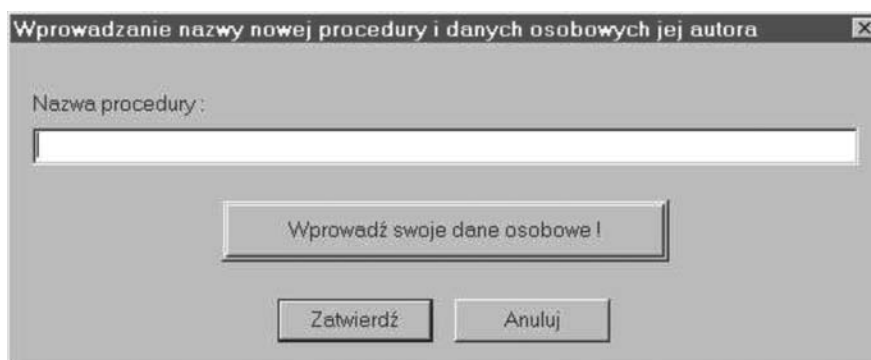
### 5.2.4 Ogólny opis działań realizowanych za pomocą programu

Działania użytkownika programu związane z utworzeniem i zapisaniem procedury diagnostycznej polegają głównie na wykonaniu następujących działań:

1. utworzenie nazwy procedury (rys. 5.2),
2. wpisanie danych osobowych specjalisty-użytkownika (rys. 5.3),



Rysunek 5.1: PDWP — okno główne



Rysunek 5.2: Okno dialogowe do wprowadzania nazwy procedury

3. wybór symboli graficznych dla danych elementów procedury, a bezpośrednio po tym zapisanie składników definiujących aktualnie tworzony element procedury (dotyczy to formułowania następujących elementów procedury: *Start*, *Zadanie* oraz *Stop* — rys. 5.4),
4. umiejscowienie wybranego symbolu graficznego na części graficznej ekranu,
5. tworzenie podprocedury, będącej rozwinięciem danego zadania elementar-

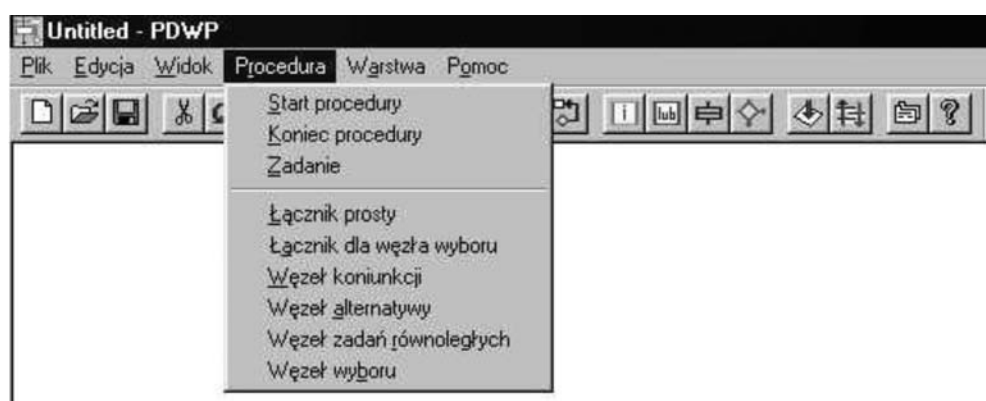


Wprowadzanie danych osobowych specjalisty

Imię :	Nazwisko :	Hala/pokój :	Wydział :
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Nazwa firmy :	Ulica :	Faks :	Telefon :
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Kod pocztowy :	Miejscowość :	E-mail :	
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	

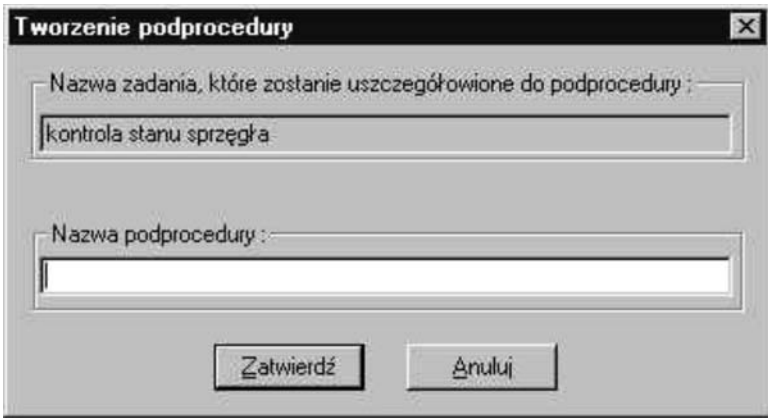
Zatwierdź      Anuluj

Rysunek 5.3: Okno dialogowe do wprowadzania danych osobowych użytkownika-specjalisty



Rysunek 5.4: Menu programu PDWP

nego (rys. 5.5),



Tworzenie podprocedury

Nazwa zadania, które zostanie uszczegółowione do podprocedury :

Nazwa podprocedury :

Zatwierdź      Anuluj

Rysunek 5.5: Okno dialogowe do tworzenia podprocedur.

6. zapisanie wyników pracy do pliku.

W szczególności zaś użytkownik może formułować następujące elementy składowe procedury (rozdz. 4.1.2):

- *Start* procedury,
- *Stop* procedury,
- *Zadanie*.

Poza tym może dodawać do procedury inne elementy składowe, jak (rozdz. 4.1.2):

- *Węzeł równoległości*,
- *Węzeł koniunkcji*,
- *Węzeł alternatywy*,
- *Węzeł wyboru*,
- *Łącznik* łączący poszczególne symbole graficzne.

## 5.3 „Formularz elektroniczny”

### 5.3.1 Istota rozwiązania

*Formularz elektroniczny*<sup>2</sup> jest aplikacją współdziałającą z bazą danych i wiedzy o schemacie logicznym zgodnym ze schematem *EMPREL* [Moczulski, 1997]. Wyniki wszystkich działań specjalisty wykonywanych w ramach sesji z tą aplikacją są zapisywane w bazie, co umożliwia późniejsze ich przetworzenie, np. przez inżyniera wiedzy.

Program umożliwia specjalście wykonywanie dwóch rodzajów działań:

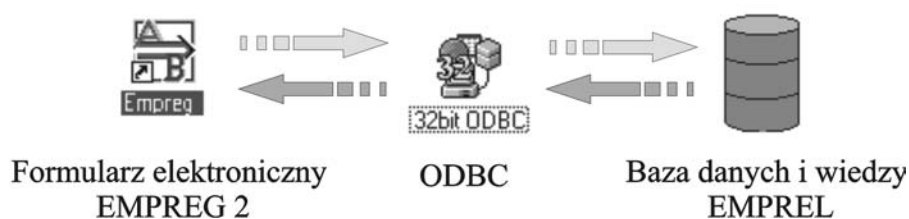
- *wprowadzanie nowych reguł empirycznych*,
- *ocenianie* pozyskanych już reguł empirycznych.

---

<sup>2</sup>Aplikacja ta — wykonana przez autora według oryginalnej koncepcji W. Moczulskiego — jest elementem systemu *SPWD1* [Moczulski, 1997]. Powstała w ramach realizacji projektu badawczego nr 8 T11F 020 09 pt. *Akwizycja wiedzy dla potrzeb diagnostyki technicznej*.

### 5.3.2 Opis ogólny programu *EMPREG 2*

*EMPREG 2* jest aplikacją, będącą rodzajem „elektronicznego formularza”, do gromadzenia wiedzy diagnostycznej (rys. 5.7). Wiedza ta jest reprezentowana w postaci empirycznych reguł diagnostycznych (rozdz. 4.2). Poprawność merytoryczna każdej z utworzonych reguł jest oceniana przez specjalistę. Całość wiedzy jest składowana w relacyjnej bazie danych o schemacie zgodnym z *EMPREL* [Moczulski, 1997]. Program w czasie działania łączy się z bazą danych i wiedzy, (rys. 5.6) stosując standard połączenia ODBC (ang. *Open Data Base Connectivity*). Nie jest natomiast istotne, w jakim środowisku baz danych zostały określone struktura oraz schemat logiczny bazy danych i wiedzy<sup>3</sup>.



Rysunek 5.6: Schemat połączeń systemowych

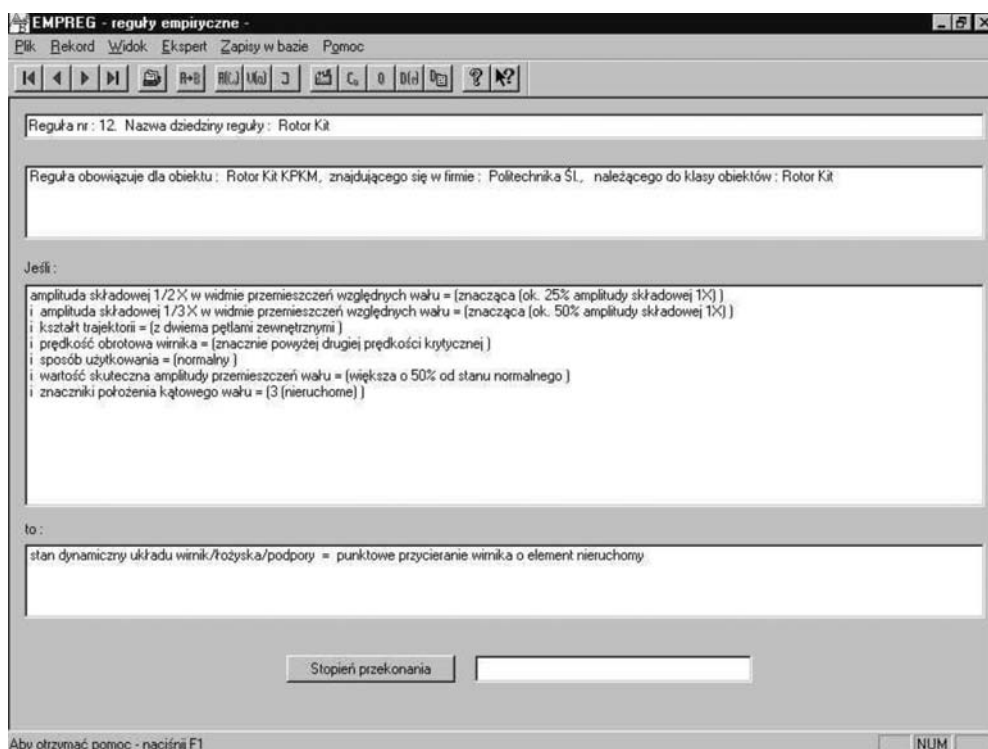
Aplikacja ta wymaga 32 – bitowego systemu operacyjnego, np. *MS Windows 9x* lub *MS Windows NT*. W związku z tym, że wymienione systemy operacyjne są systemami graficznymi program ma wszystkie zalety, tych systemów.

### 5.3.3 Opis sposobu komunikacji pomiędzy programem a użytkownikiem

Jednym z najważniejszych kryteriów, jakie przyjęto w fazie projektowania omawianego programu, była tzw. „przyjazność” programu dla użytkownika, w celu ułatwienia specjalście samodzielnego posługiwania się programem. Dlatego też wszystkie działania użytkownika realizowane są w systemie okienkowym<sup>4</sup>. Zdaniem autora system „okienkowy” jest najprostszy i najłatwiejszy w obsłudze. Wszystkie działania użytkownika są więc realizowane za pomocą specjalnie przygotowanych okien dialogowych. Odbywa się to poprzez bezpośrednie wpisywanie

<sup>3</sup>Dotychczasowe próby wykonywano z bazą utworzoną w środowisku *MS Access*.

<sup>4</sup>Tzn. z użyciem okien dialogowych, charakterystycznych dla wspomnianych systemów operacyjnych.



Rysunek 5.7: *EMPREG 2* — okno główne z widocznymi składnikami przykładowej reguły

danych do okien edycyjnych albo poprzez ich wybór z okien typu lista” (ang. *list box*) lub łąmbi” (ang. *combo*).

### 5.3.4 Ogólny opis działań realizowanych za pomocą programu

Działania użytkownika-specjalisty można podzielić na dwie kategorie:

1. formułowanie nowych reguł empirycznych,
2. ocenianie reguł poprzez wybór *stopni przekonania* o słuszności reguły.

Formułowanie nowych reguł wiąże się z wprowadzaniem wszystkich elementów składowych koniecznych do utworzenia reguł, czyli:

1. nazw dziedzin reguł,
2. nazw lokalizacji dla obiektów,
3. nazw klas obiektów,

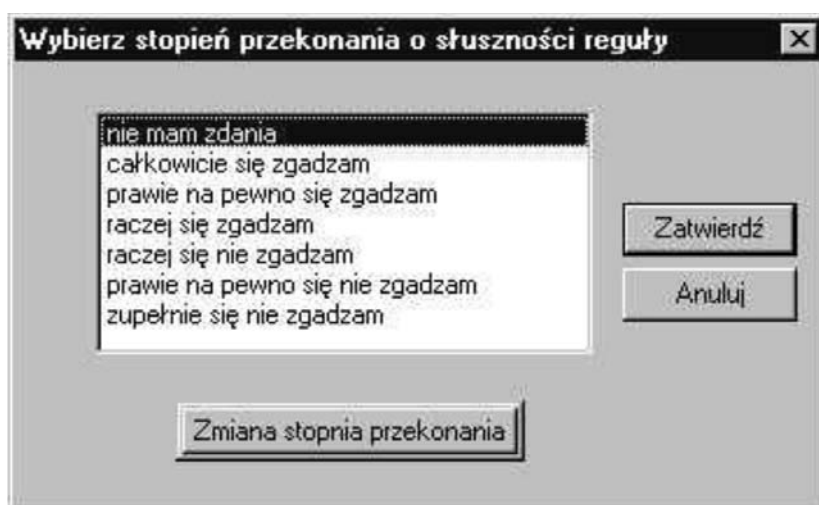
4. nazw obiektów,
5. nazw atrybutów i wartości atrybutów,
6. oznaczeń jednostek fizycznych.

Działania dotyczące punktów 1. i 2. są możliwe dopiero po uprzednim zarejestrowaniu się użytkownika, czyli wpisaniu danych personalnych do bazy. W ten sposób w bazie można pozostawić ślad w postaci przypisania ocenianej lub nowo utworzonej regule identyfikatora osoby dokonującej działań dotyczących reguły. Umożliwia to późniejszy kontakt z tą osobą.

Działania, dotyczące wprowadzania elementów składowych reguł, mogą być dokonywane bez rejestracji użytkownika. Jest to uwarunkowane tym, że elementy składowe reguł powinien móc definiować każdy użytkownik, nie ma natomiast potrzeby pozostawiania śladu” tego działania. Przypisanie identyfikatora użytkownika wymagane jest wyłącznie przy tworzeniu lub ocenianiu reguł.

Specjalista przed przystąpieniem do oceniania reguł może przejrzeć ich treść. Przeglądając treść reguł, nie ma jednak możliwości wglądu w oceny tych reguł, wprowadzone przez innych specjalistów. Zapewnia to większy obiektywizm działań specjalisty. W celu zapewnienia pewnej wygody” użytkownikowi oraz umożliwienia wykonania ewentualnych korekt już wprowadzonych ocen, dopuszczalne są następujące działania pomocnicze:

- w czasie sesji z programem, gdy specjalista pomyli się podczas wprowadzania stopnia przekonania o słuszności reguły — może dokonać zmiany tego stopnia (rys. 5.8),
- użytkownik może przerwać ocenianie lub formułowanie reguł zamykając aplikację, a następnie ponownie ją uruchomić i dokończyć działania. Nie musi już wtedy ponownie wpisywać swych danych personalnych, musi jedynie wybrać je z listy osób, które już wcześniej były użytkownikami programu (rys. 5.9),
- w czasie formułowania reguł lub ich elementów składowych, można swobodnie otwierać wszystkie okna dialogowe, które w danym momencie są potrzebne. Jest to szczególnie przydatne wówczas, gdy stwierdzamy brak potrzebnych elementów do utworzenia reguły. Mając wtedy uaktywnione okno dialogowe do definiowania reguły, można otworzyć stosowne okno i utworzyć na bieżąco potrzebny element reguły (rys. 5.10).



Rysunek 5.8: Okno dialogowe do wprowadzania stopni przekonania o słuszności reguł (widoczny przycisk do akceptacji zmian wcześniejszej oceny)



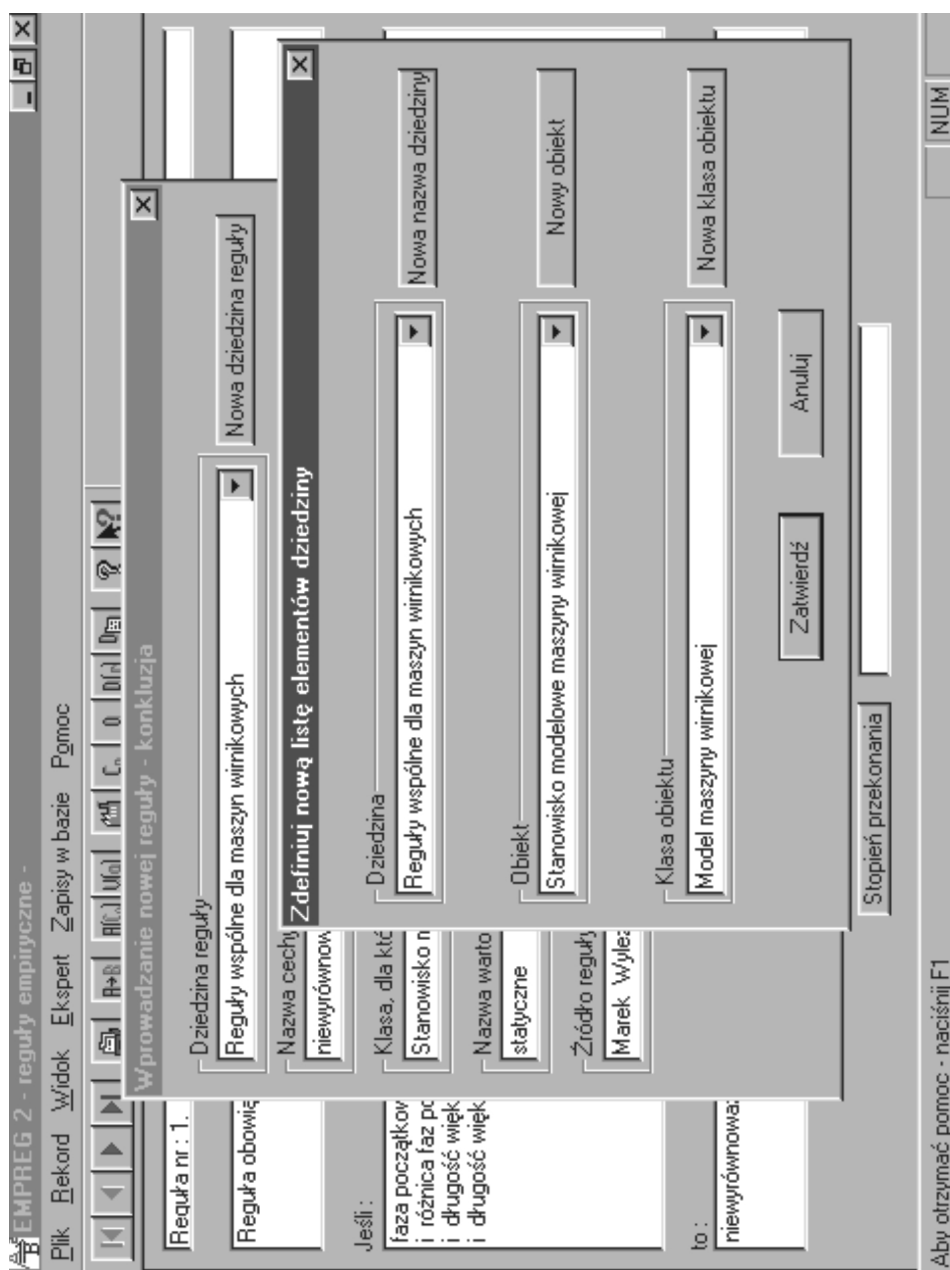
Rysunek 5.9: Okno dialogowe do wprowadzania lub wyboru danych personalnych użytkownika

Program jest również wyposażony w szereg zabezpieczeń, zapobiegających dokonywaniu błędnych zapisów w bazie wiedzy. Zabezpieczenia te obejmują m.in.:

- kontrolę kolejności dokonywania ocen reguł (można je oceniać tylko w takiej kolejności, w jakiej zostały one zapisane w bazie)<sup>5</sup>,
- kontrolę rejestracji danych personalnych specjalisty,

<sup>5</sup>Jest to cecha związana wyłącznie z pakietem kwerend programu, skierowanych do bazy danych i wiedzy *EMPREL*.





Rysunek 5.10: Okno dialogowe do definiowania nowej listy elementów dziedziny, w czasie formułowania reguły

- kontrolę poprawności formułowania elementów składowych reguł (jeżeli użytkownik zapomni o wpisaniu lub wybraniu określonego składnika, definiowany element reguły nie zostanie zapisany w bazie) itp.

## Rozdział 6

# Weryfikacja opracowanych metod i środków pozyskiwania wiedzy

Rozdział ten stanowi opis wybranych zadań zrealizowanych w celu zweryfikowania przydatności zaproponowanych metod i środków pozyskiwania wiedzy diagnostycznej od specjalistów.

Część zadań, dotycząca rozwoju metod i środków wspomaganie procesu pozyskiwania wiedzy diagnostycznej deklaratywnej, została wykonana w ramach projektu badawczego KBN nr 8T11F 020 09 „Akwizycja wiedzy dla potrzeb diagnostyki technicznej” (obszerna prezentacja wyników tego projektu jest zamieszczona w pracy [Moczulski *et al.*, 1997a]) oraz pracach własnych autora [Wyleżoł, 1997], [Wyleżoł, 1997a], [Wyleżoł, 1998], [Wyleżoł, 1998a].

Zadania, dotyczące badań nad rozwojem metod i środków wspomaganie procesu pozyskiwania wiedzy o charakterze proceduralnym, były realizowane w ramach badań własnych autora [Wyleżoł, 1999] oraz projektu badawczego KBN nr 7 T07B 046 16 „Sformalizowane metody pozyskiwania wiedzy w diagnostyce maszyn”.

Pozyskanie wiedzy, dotyczącej badań diagnostycznych konkretnego obiektu technicznego, nie było celem badań autora. W celu sprawdzenia poprawności opracowanych metod pozyskania wiedzy proceduralnej, a także przydatności środków pozyskiwania wiedzy, działających zgodnie z tymi metodami, zrealizowano jednak pełny zakres zadań odpowiadający potrzebom procesu pozyskiwania wiedzy diagnostycznej.

Głównym kryterium doboru dziedziny, dla której pozyskiwano wiedzę diagnostyczną, była dziedzina specjalizacji dostępnych specjalistów-diagnostów.

## 6.1 Weryfikacja metod pozyskiwania wiedzy od specjalistów

Celem badań weryfikacyjnych w odniesieniu do opracowanych metod pozyskiwania wiedzy diagnostycznej była ocena poprawności i przydatności tych metod, w kontekście ich zastosowania do pozyskiwania wiedzy od specjalistów.

Weryfikacja metod została przeprowadzona indukcyjnie, zgodnie z ustalonym planem (rozdz. 6.1.1 i 6.1.2), odpowiednio dla metody pozyskiwania wiedzy proceduralnej i metody pozyskiwania wiedzy deklaratywnej.

W badaniach weryfikacyjnych brali udział specjaliści z dziedziny diagnostyki maszyn wirnikowych oraz diagnostyki pojazdów samochodowych. Ich grupa była nieliczna. Zostało to spowodowane głównie problemami związanymi z dyspozycyjnością czasową.

### 6.1.1 Weryfikacja metody pozyskiwania wiedzy proceduralnej

#### Sposób weryfikacji

Weryfikacji metody dokonano poprzez jej zastosowanie do pozyskania wiedzy dotyczącej diagnostyki wybranych podzespołów samochodu osobowego FSO 1500, od specjalistów-diagnostów.

#### Uczestniczący specjaliści

Specjaliści biorący udział w badaniach weryfikacyjnych są pracownikami serwisu samochodowego. W swojej pracy zawodowej zajmują się m.in. diagnostyką samochodową. Swoje doświadczenie zawodowe zdobyli głównie poprzez praktykę zawodową, popartą pewnym przygotowaniem teoretycznym.

#### Plan badań weryfikacyjnych

Plan badań weryfikacyjnych zawierał następujące punkty:

1. szkolenie specjalisty,
2. samodzielny zapis porcji” wiedzy (w postaci procedur diagnostycznych) przez specjalistę,
3. zapis pozyskanej wiedzy do bazy danych i wiedzy przez inżyniera wiedzy,

4. udostępnienie zapisanej wiedzy specjaliście,
5. omówienie uzyskanych wyników ze specjalistą,
6. ocena metody przez specjalistę.

### **Przebieg badań**

Dla przeprowadzenia badań konieczne było pozyskanie do współpracy odpowiednich specjalistów z określonej dziedziny diagnostycznej.

Analizując dostępne publikacje o tematyce diagnostycznej (np. [Żółtowski, Jankowski, Ćwik, 1994]), autor stwierdził, że odpowiednią dziedziną, w której stosowana jest wiedza proceduralna, jest diagnostyka pojazdów samochodowych. Ze względu na szybki postęp w konstruowaniu pojazdów samochodowych, którego skutkiem jest znaczne podwyższenie ich niezawodności i trwałości, przy jednoczesnym ograniczeniu liczby obsług, postanowiono jako obiekt badań wybrać samochód FSO 1500.

Do współpracy postanowiono pozyskać specjalistów zajmujących się diagnozowaniem i obsługiwaniem takiego pojazdu, posiadających odpowiednią wiedzę teoretyczną oraz doświadczenie. Wybranych specjalistów poddano ocenie pośredniej, gromadząc opinie użytkowników, którzy udostępnili swoje pojazdy do obsługi ocenianym specjalistom. W wyniku oceny wytypowano dwóch specjalistów, z których jeden podjął się współpracy z autorem w celu oceny metody pozyskiwania wiedzy proceduralnej.

Właściwa weryfikacja metody polegała na zapisie kilkunastu procedur dotyczących diagnozowania samochodu FSO 1500. Tematyka procedur została uzgodniona pomiędzy specjalistą i inżynierem wiedzy (autor).

Procedury były zapisywane samodzielnie przez specjalistę. W trakcie badań weryfikacyjnych specjalista kontaktował się z autorem, głównie w celu uzgodnienia słownictwa technicznego, aby ustrzec się przed stosowaniem zwrotów potocznych, zrozumiałych tylko w wąskim gronie pracowników warsztatu samochodowego.

Zbiór procedur zapisywany był przez specjalistę przez około 4 tygodnie. Było to spowodowane ograniczeniami czasowymi specjalisty, wynikającymi z trybu jego pracy.

Kompletny zbiór procedur został sprawdzony przez inżyniera wiedzy pod względem poprawności zapisu. Uwagi przekazano specjaliście, który wprowadził zaproponowane zmiany (głównie dotyczące zastosowanego słownictwa).

Po zakończeniu zapisywania procedur specjalista przekazał autorowi ustną opinię o przydatności metody pozyskiwania wiedzy proceduralnej (patrz: punkt następny).

### Ocena metody

W wyniku oceny kryterialnej [Wyleżoł, 2000] oraz na podstawie przeprowadzonych badań procesu pozyskiwania wiedzy proceduralnej można stwierdzić, że:

- sposób zapisu procedur diagnostycznych (grafika oraz tekst), wybór elementów składowych procedury spotkał się ze zrozumieniem specjalistów,
- graficzna prezentacja procedur okazała się stosunkowo łatwa do przyswojenia,
- pewną trudnością – głównie dla inżyniera wiedzy — okazało się określenie specjalistą stopnia szczegółowości, na którym zapis procedur powinien zostać zakończony,
- trudnością dla specjalistów okazało się rozróżnienie elementów zadania: *Dane wejściowe do wykonania zadania* oraz *Warunki wykonania zadania*.

## 6.1.2 Weryfikacja metody pozyskiwania wiedzy deklaratywnej

### Sposób weryfikacji

Weryfikacja metody polegała na zastosowaniu jej do pozyskania od specjalistów-diagnostów wiedzy, dotyczącej stanów dynamicznych układu wirnik/łożyska/podpory obiektu technicznego w postaci modelu maszyny wirnikowej *Rotor Kit* [Bently Nevada, 1996].

### Uczestniczący specjaliści

Specjaliści, którzy wzięli udział w badaniach weryfikacyjnych są pracownikami naukowymi wyższej uczelni technicznej. Ich doświadczenie zawodowe zostało zdobyte zarówno poprzez przyswojenie sobie wiedzy teoretycznej, jak i poprzez praktykę zawodową. Praktyka ta obejmowała badania diagnostyczne obiektów technicznych (w szczególności turbozespołów) oraz prowadzenie własnych badań naukowych.

### Plan badań weryfikacyjnych

Plan badań weryfikacyjnych zawierał następujące punkty:

1. szkolenie specjalisty,
2. samodzielny zapis porcji” wiedzy (w postaci reguł empirycznych) przez specjalistę,
3. udostępnienie pozyskanych reguł specjalistom, nie będących ich autorami, do oceny,
4. agregacja ocen specjalistów przez inżyniera wiedzy,
5. omówienie uzyskanych wyników ze specjalistą,
6. ocena metody przez specjalistę.

### Przebieg badań

Dla przeprowadzenia badań konieczne było pozyskanie do współpracy odpowiednich specjalistów z określonej dziedziny diagnostycznej.

Dokonując analizy dostępnej literatury diagnostycznej oraz dostępności obiektów technicznych, o których wiedzę można było pozyskać, autor stwierdził, że odpowiednią dziedziną, w której stosowana jest wiedza deklaratywna, jest diagnostyka maszyn wirnikowych. Ze względu na wspomnianą dostępność obiektów, jako obiekt badań wybrano model maszyny wirnikowej *Rotor Kit* [Bently Nevada, 1996].

Do współpracy postanowiono pozyskać specjalistów zajmujących się głównie diagnozowaniem maszyn wirnikowych, posiadających odpowiednią wiedzę teoretyczną oraz doświadczenie. W wyniku oceny specjalistów, na podstawie ich publikacji, wytypowano czterech specjalistów, z których jeden podjął się współpracy z autorem w celu zapisu reguł empirycznych, natomiast pozostali podjęli się oceny zapisanych reguł. Wszyscy specjaliści przekazali autorowi słowną opinię o przydatności metody pozyskiwania wiedzy deklaratywnej.

Właściwa weryfikacja metody polegała na zapisie kilkunastu reguł dotyczących relacji symptom i warunki działania — stan techniczny”. Dziedzina reguł została uzgodniona pomiędzy specjalistą i inżynierem wiedzy (autor).

Reguły były zapisywane samodzielnie przez specjalistę; pisemnie — podczas obserwacji pracy maszyny — a następnie z użyciem programu *EMPREG 2*.

W trakcie badań weryfikacyjnych specjalista zapisujący reguły nie kontaktował się z autorem, natomiast specjaliści oceniający zapisane reguły utrzymywali z autorem stały kontakt. Potrzeba kontaktu wynikała głównie z potrzeby dostarczenia specjalistom wyjaśnień dotyczących treści reguł, a także z woli uzupełnienia swych opinii o poprawności merytorycznej ocenianych reguł.

Zbiór reguł zapisywany był przez specjalistę w czasie około 1 tygodnia. Ocena pozyskanych reguł zajęła każdemu ze specjalistów od 1 do 7 dni.

Kompletny zbiór reguł został sprawdzony przez inżyniera wiedzy pod względem poprawności zapisu.

Po zakończeniu zapisywania reguł, specjalista przekazał autorowi ustną opinię o przydatności metody pozyskiwania wiedzy deklaratywnej (patrz: punkt następny).

### Ocena metody

W wyniku oceny kryterialnej [Wyleżoń, 2000a] oraz na podstawie przeprowadzonych badań procesu pozyskiwania wiedzy proceduralnej, można stwierdzić, że:

- zapis relacji diagnostycznych w postaci reguł spotkał się ze zrozumieniem specjalistów,
- sposób formułowania reguły, a przede wszystkim możliwość formułowania przesłanek mogących stanowić koniunkcję warunków prostych lub złożonych, wymagał osobnych tłumaczeń ze strony inżyniera wiedzy,
- stopnie przekonania o słuszności reguły zastosowane do oceny reguł okazały się w większości wypadków wystarczające, ale mimo to specjaliści czasem mieli trudności z ustosunkowaniem się do treści reguły z rozbudowaną przesłanką, w której np. tylko jeden warunek wzbudzał wątpliwości,
- zastosowane przez specjalistów formułujących reguły wartości lingwistyczne<sup>1</sup> niektórych atrybutów jak np. *duża*, *nieznaczna*, *normalny* itp. powodowały wątpliwości specjalistów dokonujących ocen reguł; zaznaczył się tu<sup>2</sup> brak możliwości odkodowania tak zapisanych wartości.

<sup>1</sup>Subiektywnie stosowane w praktyce zawodowej.

<sup>2</sup>Chodzi o program *EMPREG 2*.



## 6.2 Weryfikacja środków wspomaganie procesu pozyskiwania wiedzy

Celem badań weryfikacyjnych w odniesieniu do opracowanych i zastosowanych środków wspomaganie procesu pozyskiwania wiedzy diagnostycznej od specjalistów była przede wszystkim ocena prawidłowości ich działania oraz założonej tzw. „przyjazności” dla użytkownika. Badania te dotyczyły: bazy danych i wiedzy *EMPREL-PDWP* (rozdz. 5.1), edytora wielowarstwowych schematów blokowych *PDWP* (rozdz. 4.1) i elektronicznego formularza *EMPREG 2* (rozdz. 4.2).

Badania weryfikacyjne w szczególności dotyczyły:

- poprawności bazy danych i wiedzy *EMPREL-PDWP*,
- działania edytora wielowarstwowych schematów blokowych *PDWP*,
- działania elektronicznego formularza *EMPREG 2*.

W badaniach tych brali udział specjaliści w dziedzinie diagnostyki maszyn wirnikowych oraz diagnostyki pojazdów samochodowych. Zadania inżyniera wiedzy wykonał autor.

### 6.2.1 Weryfikacja środków wspomaganie procesu pozyskiwania wiedzy proceduralnej

Przeprowadzone badania dotyczyły:

- sprawdzenia poprawności działania<sup>3</sup>,
- łatwości obsługi zastosowanych aplikacji,
- odpowiedniości elementów graficznych zastosowanych w powyższych programach,
- łatwości przeprowadzania konwersji wielowarstwowych schematów blokowych z zapisu w postaci graficzno-tekstowej do zapisu, którego format został zdefiniowany w bazie danych i wiedzy *EMPREL-PDWP*.

---

<sup>3</sup>Poprawność działania prowadzono w systemach operacyjnych *MS Windows 95* i *MS Windows NT 4.0*.

W badaniach weryfikacyjnych brali udział: inżynier wiedzy oraz specjaliści-diagności.

Badania weryfikacyjne polegały na:

- przeszkoleniu specjalisty przez inżyniera wiedzy w zakresie obsługi programu *PDWP*, w tym:
  - przedstawiono specjaliście przykładową procedurę zapisaną przez inżyniera wiedzy,
  - przedstawiono specjaliście wszystkie elementy *menu* (oraz *menu* kontekstowego, patrz: punkt następny) programu oraz odpowiadające im ikony,
  - zapoznano specjalistę z możliwościami wykorzystania przycisków funkcyjnych myszki (szczególnie prawego przycisku, uruchamiającego *menu* kontekstowe),
  - zapoznano specjalistę z zasadami przemieszczania się pomiędzy utworzonymi warstwami procedury,
- przekazaniu specjaliście programu *PDWP* w celu:
  - samodzielnego dokonania przez niego zapisu procedur diagnostycznych,
  - notowania uwag o wszystkich zauważonych usterkach programu.
- dyskusji wyników działań specjalisty,

W czasie dokonywania zapisów procedur, specjaliści zauważyli kilka usterek oprogramowania. Pojawił się m.in. problem związany z zamianą umieszczania w oknach tekstowych *Opisu działania* z *Oczekiwany wynik wykonania zadania*. Usterka ta została usunięta przez inżyniera wiedzy (autora programu). Wydruk zapisanych procedur ujawnił pojawianie się innych usterek (dotyczących skalowania elementów na wydruku). Ze względów czasowych problem ten nie został w pełni rozwiązany.

### 6.2.2 Przykłady weryfikacji metod i środków pozyskiwania wiedzy proceduralnej

W punkcie tym przedstawiono przykładową procedurę diagnostyczną, pozyskaną od specjalisty w dziedzinie diagnostyki pojazdów samochodowych. Działania te

przeprowadzono w ramach weryfikacji metody pozyskiwania diagnostycznej wiedzy proceduralnej.

Należy zaznaczyć, że przedstawione dalej rysunki nie przedstawiają całości wiedzy diagnostycznej, jakiej dostarcza zapis procedury z użyciem programu *PDWP*<sup>4</sup>. Rysunki te przedstawiają wyłącznie strukturę procedury. Są więc widoczne symbole elementów składowych procedury: zadań (wraz z nazwami zadań), węzłów sterujących i powiązań między nimi.

Poniższe rysunki (6.1 do 6.4) przedstawiają zapis struktury procedury poszukiwania przyczyn utrudnionej zmiany biegów w samochodzie FSO 1500. Przedstawiona procedura (wraz z podprocedurami) zawiera przewidziane przez specjalistę możliwe zadania, służące uzyskaniu stosownej diagnozy.

Dalej przedstawiono fragment *raportu* wspomnianej bazy, zawierającej wyłącznie podprocedurę *„Kontrola stanu tarczy sprzęgłowej”* (odpowiednikiem przedstawionego fragmentu raportu jest podprocedura przedstawiona na rys. 6.3). W celu zmniejszenia objętości tekstu raportu oraz zwiększenia jego przejrzystości usunięto niektóre fragmenty.

**Nr połączenia:** 1

**Nazwa procedury:** Kontrola stanu tarczy sprzęgłowej

**Elementy procedury:**

Start: Start podprocedury *„Kontrola stanu tarczy sprzęgłowej”*

**Poprzedniki:** —

**Następniki:**

Węzeł sterujący: węzeł równoległości

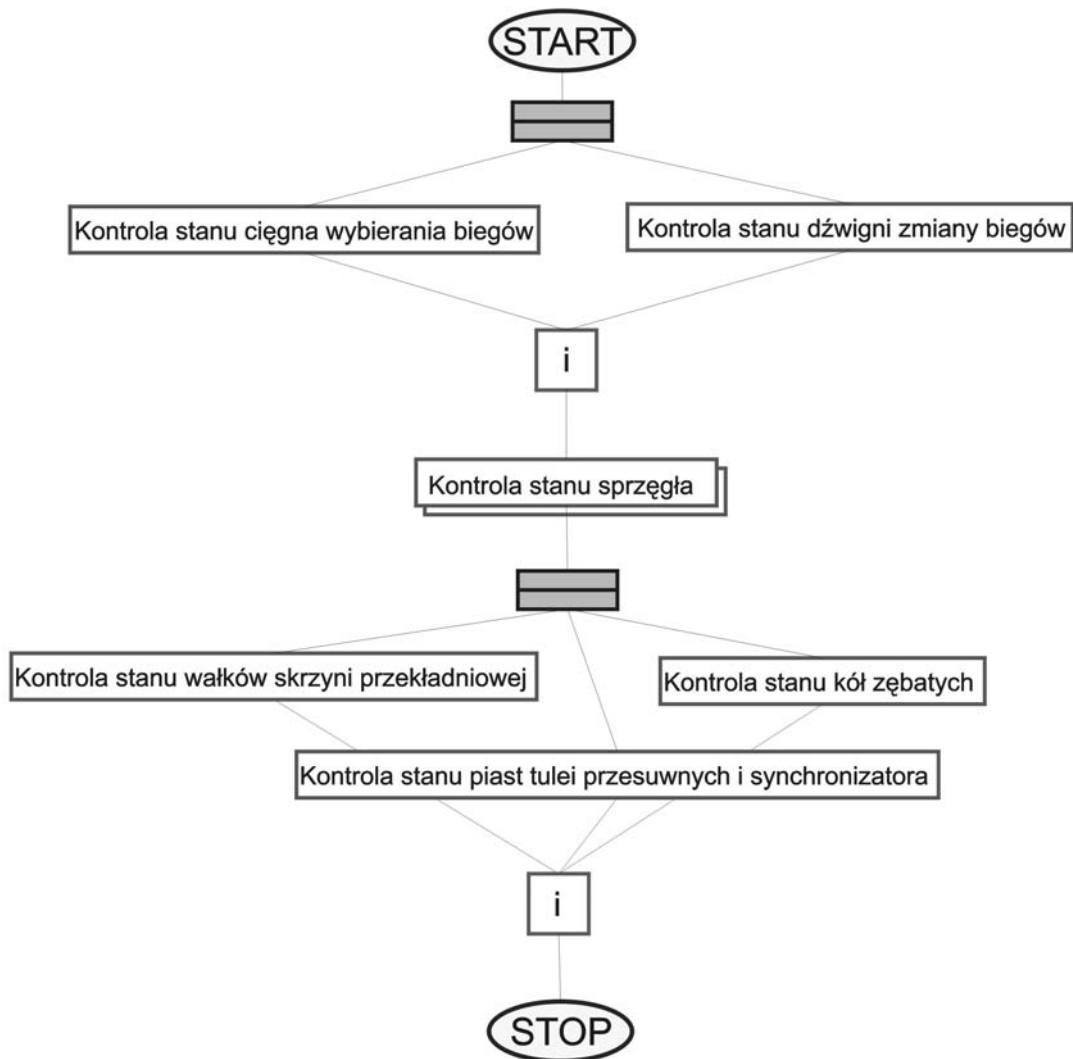
**Powrót do zadania:** —

**Zadanie, które zostało uszczegółowione do podprocedury:** Kontrola stanu tarczy sprzęgłowej

---

<sup>4</sup>Brak jest widocznych elementów definiujących poszczególne zadania (rozdz. 4.1.2). Całość wiedzy, jaką stanowi zapisana procedura diagnostyczna, pozwala prezentować jedynie program *PDWP*

Nazwa procedury: rozpoznanie przyczyny utrudnionej zmiany biegów w samochodzie FSO 1500



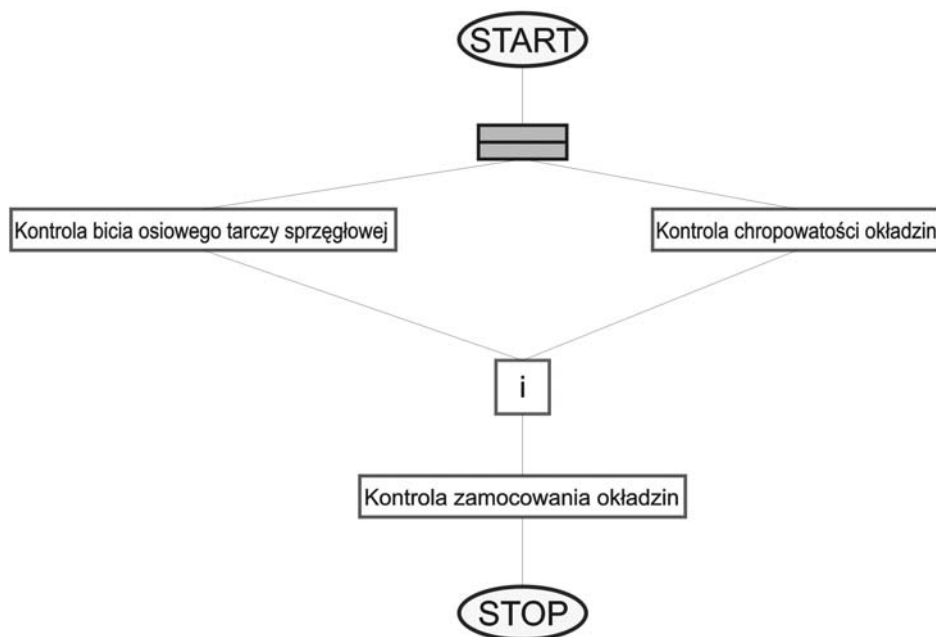
Rysunek 6.1: Rozpoznanie przyczyny utrudnionej zmiany biegów w samochodzie FSO 1500

Nazwa procedury: poszukiwanie przyczyn niepełnego wyłączenia sprzęgła



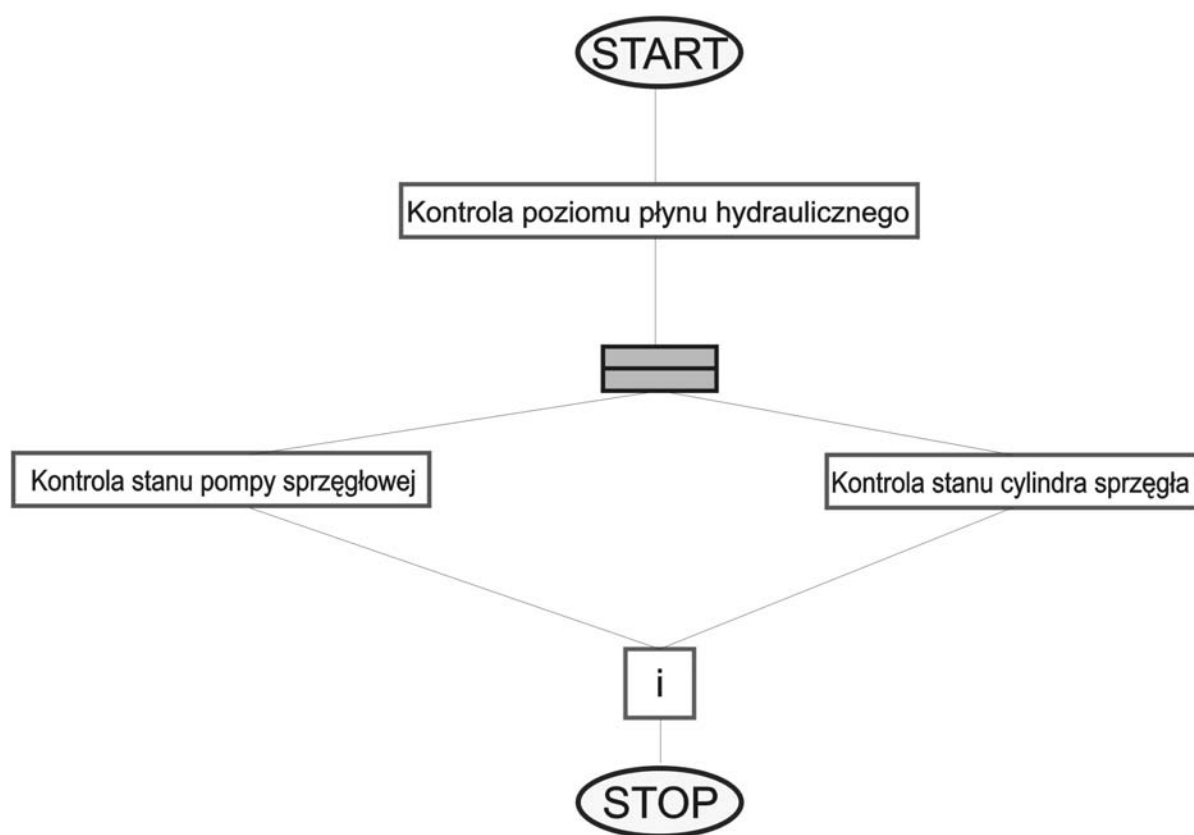
Rysunek 6.2: Poszukiwanie przyczyn niepełnego wyłączenia sprzęgła

Nazwa procedury: kontrola stanu tarczy sprzęgłowej



Rysunek 6.3: Kontrola stanu tarczy sprzęgłowej

Nazwa procedury: kontrola stanu elementów składowych układu hydraulicznego



Rysunek 6.4: Kontrola stanu elementów składowych układu hydraulicznego

**Nr połączenia: 2****Elementy procedury:**

Węzeł sterujący: węzeł równoległości

**Poprzedniki:**

Start: Start podprocedury „Kontrola stanu tarczy sprzęgłowej”

**Następniki:**

Zadanie: Kontrola bicia osiowego tarczy sprzęgłowej

**Powrót do zadania:** —

**Zadanie, które zostało uszczegółowione do podprocedury:** Kontrola stanu tarczy sprzęgłowej

---

**Nr połączenia: 3****Elementy procedury:**

Węzeł sterujący: węzeł równoległości

**Poprzedniki:**

Start: Start podprocedury „Kontrola stanu tarczy sprzęgłowej”

**Następniki:**

Zadanie: Kontrola chropowatości okładzin

**Powrót do zadania:**

**Zadanie, które zostało uszczegółowione do podprocedury:** Kontrola stanu tarczy sprzęgłowej

---

**Nr połączenia: 4****Elementy procedury:**

Zadanie: Kontrola bicia osiowego tarczy sprzęgłowej

**Poprzedniki:**

Węzeł sterujący: Węzeł równoległości

**Następniki:**

Węzeł sterujący: Węzeł koniunkcji

**Powrót do zadania:**

**Zadanie, które zostało uszczegółowione do podprocedury:** Kontrola stanu tarczy sprzęgłowej

---

**Nr połączenia: 5****Elementy procedury:**

Zadanie: Kontrola chropowatości okładzin

**Poprzedniki:**

Węzeł sterujący: Węzeł równoległości

**Następniki:**

Węzeł sterujący: Węzeł koniunkcji

**Powrót do zadania:**

**Zadanie, które zostało uszczegółowione do podprocedury:** Kontrola stanu tarczy sprzęgłowej

---

**Nr połączenia: 6****Elementy procedury:**

Węzeł sterujący: Węzeł koniunkcji

**Poprzedniki:**

Zadanie: Kontrola bicia osiowego tarczy sprzęgłowej

**Następniki:**

Zadanie: Kontrola zamocowania okładzin

**Powrót do zadania:**

**Zadanie, które zostało uszczegółowione do podprocedury:** Kontrola stanu tarczy sprzęgłowej

---

**Nr połączenia: 7****Elementy procedury:**

Węzeł sterujący: Węzeł koniunkcji

**Poprzedniki:**

Zadanie: Kontrola chropowatości okładzin

**Następniki:**

Zadanie: Kontrola zamocowania okładzin

**Powrót do zadania:**

**Zadanie, które zostało uszczegółowione do podprocedury:** Kontrola stanu tarczy sprzęgłowej

---



**Nr połączenia: 8**

**Elementy procedury:**

Zadanie: Kontrola zamocowania okładzin

**Poprzedniki:**

Węzeł sterujący: Węzeł koniunkcji

**Następniki:**

Stop: Stop procedury „Kontrola stanu tarczy sprzęgłowej”

**Powrót do zadania:**

**Zadanie, które zostało uszczegółowione do podprocedury:** Kontrola stanu tarczy sprzęgłowej

---

**Nr połączenia: 9**

**Elementy procedury:**

Stop: Stop procedury „Kontrola stanu tarczy sprzęgłowej”

**Poprzedniki:**

Zadanie: Kontrola zamocowania okładzin

**Następniki:** —

**Powrót do zadania:**

**Zadanie, które zostało uszczegółowione do podprocedury:** Kontrola stanu tarczy sprzęgłowej

---

### 6.2.3 Weryfikacja środków wspomaganie procesu pozyskiwania wiedzy deklaratywnej

Przeprowadzone badania dotyczyły:

- sprawdzenia poprawności działania<sup>5</sup>,
- sprawdzenia użyteczności możliwości edycyjnych formularza elektronicznego”,
- możliwości oceny reguł pozyskanych od specjalistów z użyciem programu *EMPREG 2*.

---

<sup>5</sup>Poprawność działania prowadzono w systemach operacyjnych *MS Windows 95*, *MS Windows NT 3.51* i *MS Windows NT 4.0*.

W badaniach weryfikacyjnych brali udział: inżynier wiedzy oraz specjaliści-diagności.

Badania weryfikacyjne polegały na:

- przeszkoleniu specjalisty przez inżyniera wiedzy w zakresie obsługi programu *EMPREG 2*, w tym:
  - przedstawiono sposób ustanowienia połączenia w standardzie *ODBC* pomiędzy programem *EMPREG 2* a bazą danych i wiedzy *EMPREL-PDWP*,
  - przedstawiono specjaliście przykładową regułę zapisaną przez inżyniera wiedzy,
  - przedstawiono specjaliście wszystkie elementy *menu* programu oraz odpowiadające im ikony,
  - zaprezentowano specjaliście procedurę formułowania poszczególnych elementów tworzących regułę (rozd. C),
  - zapoznano specjalistę ze sposobem dokonywania ocen reguł,
- przekazaniu specjaliście programu *EMPREG 2* w celu:
  - samodzielnego dokonania przez niego zapisu reguł empirycznych,
  - notowania uwag o zauważonych usterkach programu.
- dyskusji wyników działań specjalisty,

W czasie testowania programu wynikła potrzeba zwiększenia możliwości prezentacji zapisanych reguł. Szczególnie zaznaczył się brak opcji drukowania (nie jest ona wprawdzie potrzebna do samego zapisywania i oceniania reguł, ale ułatwia tworzenie dokumentacji papierowej<sup>6</sup>). Poprawek wymagała również opcja rejestrowania się użytkownika i związane z nią zabezpieczenia<sup>6</sup>. Autor nie zdecydował się (głównie ze względów czasowych) na dodanie opcji wydruku treści reguł. Inne usterki zostały usunięte.

---

<sup>6</sup>W szczególności chodzi o to, by dany specjalista mógł widzieć jedynie swoje oceny reguł oraz by tylko on mógł je ewentualnie korygować, jeszcze przed przekazaniem ocen inżynierowi wiedzy.

### 6.2.4 Przykłady weryfikacji metod i środków pozyskiwania wiedzy deklaratywnej

W punkcie tym przedstawiono przykładowe reguły empiryczne, pozyskane od specjalistów. Dotyczą one stanu dynamicznego układu wirnik/łożyska/podpory. Reguły te zostały następnie ocenione przez specjalistów. Inżynier wiedzy dokonał agregacji tych ocen. Pozyskanie reguł służyło weryfikacji metody pozyskiwania wiedzy diagnostycznej deklaratywnej. Oto przykładowe reguły:

**Numer reguły:** 1

**Nazwa dziedziny reguły:** Rotor Kit

**Klasa(y) obiektów:** Stanowisko modelowe Rotor Kit; znajdujące się w firmie: Politechnika Śląska; obiekt należący do klasy Rotor Kit

**Jeżeli** amplituda składowej 2X w widmie przemieszczeń względnych wału = znacząca (równa amplitudzie istniejącej składowej”  
i kształt trajektorii = typowa ósemka”  
i prędkość obrotowa wirnika = poniżej pierwszej prędkości krytycznej”  
i sposób użytkowania = normalny”  
i wartość skuteczna amplitudy przemieszczeń wału = nieznacznie większa od stanu normalnego”  
i znacznik położenia kąтового wału = widoczny raz na dwa obroty”  
**to** stan dynamiczny układu wirnik/łożyska/podpory = znaczne przeciążenie układu łożysk”

**Numer reguły:** 2

**Nazwa dziedziny reguły:** Rotor Kit

**Klasa(y) obiektów:** Stanowisko modelowe Rotor Kit; znajdujące się w firmie: Politechnika Śląska; obiekt należący do klasy Rotor Kit

**Jeżeli** amplituda składowej 2X w widmie przemieszczeń względnych wału = znacząca (20-50% amplitudy składowej 1X)”  
i kształt trajektorii = typowa ósemka”  
i prędkość obrotowa wirnika = powyżej pierwszej prędkości krytycznej”  
i rząd składowych harmonicznym widma przemieszczeń względnych wału =  $q$  malejących amplitudach składowych”

i sposób użytkowania = „normalny”  
 i wartość skuteczna amplitudy przemieszczeń wału = „nieznacznie większa od stanu normalnego”  
 i znacznik położenia kąтового wału = „widoczny raz na dwa obroty”  
**to** stan dynamiczny układu wirnik/łożyska/podpory = „duże przeciążenie układu łożysk”

**Numer reguły:** 3

**Nazwa dziedziny reguły:** Rotor Kit

**Klasa(y) obiektów:** Stanowisko modelowe Rotor Kit; znajdujące się w firmie: Politechnika Śląska; obiekt należący do klasy Rotor Kit

**Jeżeli** amplituda składowej  $1/2X$  w widmie przemieszczeń względnych wału = „znacząca (ok. 25% amplitudy składowej  $1X$ )”  
 i amplituda składowej  $1/3X$  w widmie przemieszczeń względnych wału = „znacząca (ok. 50% amplitudy składowej  $1X$ )”  
 i kształt trajektorii = „z dwiema pętlami zewnętrznymi”  
 i prędkość obrotowa wirnika = „znacznie powyżej drugiej prędkości krytycznej”  
 i rząd składowych harmonicznym widma przemieszczeń względnych wału = „malejących amplitudach składowych”  
 i sposób użytkowania = „normalny”  
 i wartość skuteczna amplitudy przemieszczeń wału = „większa o ok. 50% od stanu normalnego”  
 i znaczniki położenia kąтового wału = „3 (nieruchome)”  
**to** stan dynamiczny układu wirnik/łożyska/podpory = „punktowe przycieranie wirnika o element nieruchomy”

**Numer reguły:** 4

**Nazwa dziedziny reguły:** Rotor Kit

**Klasa(y) obiektów:** Stanowisko modelowe Rotor Kit; znajdujące się w firmie: Politechnika Śląska; obiekt należący do klasy Rotor Kit

**Jeżeli** amplituda składowej  $1/2X$  w widmie przemieszczeń względnych wału = „znacząca (ok. 50% amplitudy składowej  $1X$ )”  
 i amplituda składowej  $1/4X$  w widmie przemieszczeń względnych wału = „dominująca”  
 i kształt trajektorii = „z trzema pętlami zewnętrznymi”

i prędkość obrotowa wirnika = w przybliżeniu 2-krotnie przekraczająca drugą prędkość krytyczną”  
i sposób użytkowania = normalny”  
i wartość skuteczna amplitudy przemieszczeń wału = większa o ok. 80% od stanu normalnego”  
i znaczniki położenia kąтового wału = 4 (nieruchome)”  
to stan dynamiczny układu wirnik/łożyska/podpory = punktowe przycieranie wirnika o element nieruchomy”

**Numer reguły:** 5

**Nazwa dziedziny reguły:** Rotor Kit

**Klasa(y) obiektów:** Stanowisko modelowe Rotor Kit; znajdujące się w firmie: Politechnika Śląska; obiekt należący do klasy Rotor Kit

**Jeżeli** amplituda składowej  $1/2X$  w widmie przemieszczeń względnych wału = znacząca (ok. 50% amplitudy składowej  $1X$ )”  
i kształt trajektorii = z jedną pętlą zewnętrzną”  
i prędkość obrotowa wirnika = powyżej pierwszej prędkości krytycznej”  
i sposób użytkowania = normalny”  
i wartość skuteczna amplitudy przemieszczeń wału = większa o ok. 50% od stanu normalnego”  
i znaczniki położenia kąтового wału = 2 (nieruchome)”  
to stan dynamiczny układu wirnik/łożyska/podpory = punktowe przycieranie wirnika o element nieruchomy”

**Numer reguły:** 6

**Nazwa dziedziny reguły:** Rotor Kit

**Klasa(y) obiektów:** Stanowisko modelowe Rotor Kit; znajdujące się w firmie: Politechnika Śląska; obiekt należący do klasy Rotor Kit

**Jeżeli** sposób użytkowania = normalny”  
i prędkość obrotowa wirnika = poniżej pierwszej prędkości krytycznej”  
i przesunięcie fazowe między sygnałem przemieszczeń względnych w obu łożyskach = ok. 180 stopni”  
i kształt trajektorii = z jedną pętlą zewnętrzną”

i składowa 1X w widmie przemieszczeń względnych wału = „dominująca”

i składowe harmoniczne widma przemieszczeń względnych wału = występują”

i wartość skuteczna amplitudy przemieszczeń wału = „znacznie podwyższona)”

i znacznik położenia kąтового wału = widoczny raz na jeden obrót «znacznik nieruchomy»”

to stan dynamiczny układu wirnik/łożyska/podpory = „duże niewyównoważenie wirnika o charakterze momentowym”

### Oceny reguł

Przedstawione powyżej reguły (reguły nr 1 do 6) zostały poddane ocenom specjalistów, nie będących ich autorami. Ocena dokonywana była za pomocą formularza elektronicznego” i polegała na wyborze jednej z siedmiu wartości stopni przekonania o słuszności reguły (tab. 4.1). W tab. 6.1 zostały zamieszczone zgromadzone oceny poszczególnych reguł (wartości ilościowe *stopni przekonania o słuszności reguły*  $NP(r)$ ) oraz wartości *operatora agregacji ocen specjalistów* (tab. 6.2 zawiera te same oceny, ale przedstawione w sposób jakościowy).

Tabela 6.1: Ilościowe oceny reguł

	R1	R2	R3	R4	R5	R6
Specjalista nr 1	0,875	0,775	0,875	0,225	0,875	1,000
Specjalista nr 2	0,775	0,875	0,875	0,225	0,225	0,775
Specjalista nr 3	0,775	0,875	0,775	0,875	0,775	0,775
$NP_{agos}(r)$	0,808	0,841	0,841	0,441	0,625	0,85

Przyglądając się tab. 6.1 (i jej odpowiednikowi — tab. 6.2, można zauważyć, że poszczególne oceny oraz wartości operatora agregacji dla reguł R1, R2, R3 i R6 nie różnią się istotnie od siebie (w ramach danej reguły) i wskazują na ocenę mieszczącą się w przedziale *„raczej się zgadzam ”* (rys. 4.16). Sytuacja taka nie występuje już w regułach R4 i R5. W przypadku reguły R4 widzimy, że dwie negatywne oceny oraz jedna pozytywna dają wyjściową ocenę (w postaci wartości operatora agregacji) mieszczącą się w zakresie *„nie mam zdania”* (rys. 4.16). W przypadku reguły R5 widzimy dwie pozytywne oraz jedną negatywną

Tabela 6.2: Jakościowe oceny reguł

	R1	R2	R3
Specjalista nr 1	Prawie na pewno się zgadzam	Raczej się zgadzam	Prawie na pewno się zgadzam
Specjalista nr 2	Raczej się zgadzam	Prawie na pewno się zgadzam	Prawie na pewno się zgadzam
Specjalista nr 3	Raczej się zgadzam	Prawie na pewno się zgadzam	Raczej się zgadzam
Zagregowana ocena jakościowa	Raczej się zgadzam	Raczej się zgadzam	Raczej się zgadzam

tab. 6.2 — c.d.

R4	R5	R6
Raczej się nie zgadzam	Prawie na pewno się zgadzam	Całkowicie się zgadzam
Raczej się nie zgadzam	Raczej się nie zgadzam	Raczej się zgadzam
Prawie na pewno się zgadzam	Raczej się zgadzam	Raczej się zgadzam
Nie mam zdania	Nie mam zdania	Raczej się zgadzam

ocenę, co daje wartość operatora agregacji również mieszczącą się w identycznym przedziale.

Przyczyny takiego stanu mogą być następujące:

- treść reguły jest kontrowersyjna (zawiera błędy merytoryczne),
- zgromadzono zbyt małą liczbę ocen reguł,
- wiedza poszczególnych specjalistów w dziedzinie ocenianych reguł jest merytorycznie zróżnicowana,
- przyjęte przedziały wartości stopni przekonania o słuszności reguły są przyjęte niewłaściwie.

Celowe jest podjęcie badań nad szczegółowym problemem dotyczącym odpowiedniego określenia  $N(r)$  i  $P(r)$  dla stopni przekonania o słuszności reguły.

Wszystkie oceny reguł są składowane w bazie danych i wiedzy *EMPREL-PDWP*. Mimo iż wyjściową oceną reguły będzie konkretna wartość *operatora agregacji*, możliwe jest odtworzenie historii<sup>7</sup> oceny danej reguły.

W opinii specjalistów zastosowany sposób oceny (wybór jednego z siedmiu wartości stopni przekonania o słuszności reguły) ułatwił im dokonanie tej oceny.

### 6.3 Podsumowanie badań weryfikacyjnych i wnioski

W odniesieniu do poszczególnych metod i środków wspomaganie procesu pozyskiwania wiedzy stwierdzono, co następuje:

#### 1 *Metoda pozyskiwania wiedzy proceduralnej*

- (a) Przeprowadzone badania potwierdziły ogólną poprawność opracowanej metody i środków wspomaganie procesu pozyskiwania wiedzy proceduralnej od specjalistów.
- (b) Zastosowanie zapisu wiedzy proceduralnej według zasady „od ogółu do szczegółu” pozwala specjalistom na ograniczenie swojej uwagi do zapisu elementów procedury na danym poziomie szczegółowości.
- (c) Graficzno-tekstowa reprezentacja wiedzy proceduralnej (w postaci wielowarstwowych schematów blokowych) jest przystępna dla specjalistów.
- (d) Zastosowane elementy służące do reprezentacji wielowarstwowych schematów blokowych są wystarczające do zapisu procedur diagnostycznych.
- (e) Podział procedur diagnostycznych na stosowne podprocedury zwiększa ogólną czytelność zapisanych procedur<sup>7</sup>.
- (f) Zapisywanie poszczególnych elementów definiujących zadania sprawiało pewną trudność specjalistom. W szczególności chodzi tu o *Warunki wykonania zadania* oraz *Dane wejściowe do wykonania zadania*.

---

<sup>7</sup>Analizując tak zapisaną procedurę, rozpatruje się ją na danym poziomie szczegółowości.



- (g) Dodatkowych objaśnień ze strony inżyniera wiedzy wymagało pojęcie *równoległości wykonywania zadań*. W szczególności problem dotyczył sytuacji, gdzie tok zadań wykonywanych równoległe kończył się *węzłem koniunkcji* lub *węzłem alternatywy*.
- (h) Brak jest możliwości bezpośredniego zapisywania procedur w formacie określonym przez przyjętą strukturę bazy danych i wiedzy *EMPREL-PDWP*, co wymagało zapisu procedur diagnostycznych w bazie danych i wiedzy przez inżyniera wiedzy.

## 2 Metoda pozyskiwania wiedzy deklaratywnej

- (a) Reguły empiryczne jako środek reprezentujący relacje pomiędzy cechami warunków działania i symptomami stanu a cechami stanu obiektu technicznego są akceptowane przez specjalistów.
- (b) Potwierdzono skuteczność zastosowania formularza elektronicznego” do oceny wcześniej pozyskanej wiedzy.
- (c) Zastosowanie stopni przekonania o słuszności reguły, ułatwia specjalistom ocenę merytorycznej poprawności reguł (rozdz. 4.2.4).
- (d) Zastosowanie *stopni przekonania o słuszności reguły* do ocen reguł oraz *operatora agregacji ocen specjalistów* dla połączenia tychże ocen pozwoliło na otrzymanie zobiektywizowanych wyjściowych ocen tych reguł (tab. 6.1).
- (e) Dodatkowych wyjaśnień ze strony inżyniera wiedzy wymagało zastosowanie złożonych warunków w przesłankach reguł.
- (f) Przy zastosowaniu formularza elektronicznego *EMPREG 2* do oceniania reguł przez specjalistów, wyraźnie zaznaczył się brak możliwości oceniania reguł w dowolnej kolejności (rozdz. 5.3.4).



# Rozdział 7

## Podsumowanie i wnioski

Praca jest wynikiem badań autora nad rozwojem metod pozyskiwania wiedzy diagnostycznej od specjalistów, w szczególności zaś dotyczy opracowania metod i środków komputerowego wspomaganie procesu pozyskiwania wiedzy diagnostycznej od specjalistów.

Pod względem zakresu i dziedziny zainteresowania, praca ta jest kontynuacją badań nad rozwojem metod i środków pozyskiwania wiedzy dla diagnostycznych systemów doradczych, prowadzonych w Katedrze Podstaw Konstrukcji Maszyn Politechniki Śląskiej. Głównie zaś jest kontynuacją i rozwnięciem pracy [Moczulski, 1997], pod kątem rozwoju metod i środków pozyskiwania wiedzy proceduralnej ([Moczulski, 1997], s. 135-137).

Sformułowany na wstępie cel rozprawy został osiągnięty poprzez:

1. opracowanie własnej metody pozyskiwania diagnostycznej wiedzy proceduralnej, w tym opracowanie środków reprezentacji tej wiedzy, z uwzględnieniem możliwości zastosowania ich do budowy bazy wiedzy systemu doradczego,
2. rozwinięcie i uszczegółowienie metody pozyskiwania diagnostycznej wiedzy deklaratywnej [Moczulski, 1997], szczególnie pod kątem łączenia ocen (specjalistów) pozyskanej wiedzy,
3. opracowanie i wykonanie środków wspomaganie procesu pozyskiwania wiedzy (rozd. 5), stanowiących praktyczną realizację opracowanych metod,
4. rozbudowę bazy danych i wiedzy *EMPREL* [Moczulski, 1997] o możliwość składowania w niej zapisów reprezentujących wiedzę proceduralną.

Przeprowadzone badania opracowanych metod oraz środków, umożliwiających praktyczne zastosowanie tych metod, pozwoliły na ogólne potwierdzenie ich poprawności i przydatności. W kontekście sformułowanych w punkcie 2.5 tej pracy, można sformułować następujące stwierdzenia:

1. Słuszność tezy 1. wykazano poprzez zastosowanie formularza elektronicznego” do oceniania poprawności merytorycznej reguł pozyskanych od specjalistów, stosując do oceny stopnie przekonania o słuszności reguły [Moczulski, 1997]. W celu uzyskania możliwie obiektywnych ocen reguł, uzyskane oceny reguł poddano agregacji (tab. 6.1).
2. Słuszność tezy 2. wykazano poprzez opracowanie odpowiedniego środka do pozyskiwania diagnostycznej wiedzy proceduralnej od specjalistów (edytor wielowarstwowych schematów blokowych *PDWP*, umożliwiający pozyskanie nowej porcji” wiedzy reprezentowanej za pomocą wspomnianych schematów blokowych «rozd. 5.2»), a następnie stosując go do pozyskiwania wiedzy od specjalistów-diagnostów w ramach przeprowadzonych badań weryfikacyjnych.

Najważniejszymi, oryginalnymi (zdaniem autora) elementami wykonanej pracy są:

1. szczegółowa charakterystyka uczestników procesu pozyskiwania wiedzy (rozd. 3.1.1),
2. metoda pozyskiwania diagnostycznej wiedzy proceduralnej od specjalistów (rozd. 4.1), a zwłaszcza sposób reprezentacji tej wiedzy za pomocą wielowarstwowych schematów blokowych (rozd. 4.1.2)
3. koncepcja edytora wielowarstwowych schematów blokowych *PDWP* oraz jego wykonanie (rozd. 5.2),
4. opracowanie aplikacji formularza elektronicznego *EMPREG 2* (rozd. 5.3), według koncepcji, zamieszczonej w [Moczulski, 1997],
5. rozbudowa struktury bazy danych i wiedzy *EMPREL* [Moczulski, 1997] umożliwiająca zapis w tej bazie wiedzy proceduralnej (rozd. 5.1),

Na podstawie analizy wyników wykonanych badań, stwierdzono potrzebę kontynuacji badań nad rozwojem metod i środków pozyskiwania wiedzy diagnostycznej od specjalistów. W szczególności dotyczy to:

- rozwoju metod pozyskiwania wiedzy diagnostycznej w zakresie:
  - a) możliwości bezpośredniego zastosowania pozyskanej wiedzy do budowy baz wiedzy systemów doradczych,
  - b) opracowania sposobu weryfikacji wiedzy proceduralnej, pod kątem jej poprawności merytorycznej,
- rozwoju oprogramowania do zapisu procedur diagnostycznych w zakresie:
  - a) dodania możliwości hierarchicznej prezentacji całego układu procedury (ze względu na podział na poszczególne podprocedury),
  - b) umożliwienia bezpośredniego zapisywania procedur w bazie danych i wiedzy *EMPREL-PDWP*,
  - c) umożliwienia formułowania procedur dla szczegółowo zdefiniowanych dziedzin, obiektów czy klas obiektów,
  - d) umożliwienia użytkownikowi programu skorzystania z systemu pomocy,
  - e) rozważenia możliwości przystosowania programu do postaci aplikacji internetowej, umożliwiającej zapis procedur diagnostycznych za pomocą sieci rozległej *Internet*,
- weryfikacji opracowanych metod i środków w zakresie:
  - a) zastosowania ich do pozyskiwania wiedzy o złożonych obiektach technicznych (np. turbozespołach),
  - b) zaangażowania większej liczby specjalistów w procesie pozyskiwania wiedzy.

Autor planuje kontynuację tych badań w ramach prac badawczych wykonywanych w Katedrze Podstaw Konstrukcji Maszyn.



# Dodatek A

## Baza wiedzy i danych *EMPREL-PDWP*

W pierwszej części dodatku umieszczono opis schematu logicznego bazy *EMPREL-PDWP* wraz ze szczegółowym opisem tabel wchodzących w jej skład. Druga część dodatku zawiera opis ważniejszych formularzy, służących do dokonywania zapisów w bazie.

Baza ta jest rozwinięciem opracowanej bazy wiedzy i danych *EMPREL* do zapisu reguł empirycznych. Szczegółowy opis tej bazy znajduje się w [Moczulski, 1997]. Została ona rozbudowana o możliwość zapisu w niej wiedzy proceduralnej, reprezentowanej przez wielowarstwowe schematy blokowe (rozdz. 4.1.2). Jest to więc baza umożliwiająca łączne zastosowanie obu rozpatrywanych przez autora metod reprezentacji wiedzy: deklaratywnej i proceduralnej. W pracy tej ograniczymy się do opisu części struktury bazy służącej do reprezentacji wielowarstwowych schematów blokowych (rys. A.1).

### A.1 Struktura bazy

Struktura części bazy służąca do zapisu wielowarstwowych schematów blokowych, składa się z 12 tabel powiązanych ze sobą relacyjnie. Tabele te noszą następujące nazwy<sup>1</sup>:

- *Procedura*,
- *Zbiór warstw*,

---

<sup>1</sup>Oryginalne nazwy tabel są pozbawione polskich znaków diakrytycznych.

- *Warstwa,*
- *Połączenia,*
- *Poprzedniki,*
- *Następniki,*
- *Zadania,*
- *Węzły,*
- *Start,*
- *Stop,*
- *Osoby,*
- *Adresy Osób.*

Przedstawimy teraz krótki opis każdej z tabel.

### Tabela *Procedura*

Tabela ta (tab. A.1) jest słownikiem nazw procedur. Zawiera pola służące do zapisu nazw procedur oraz pola zawierające odnośniki do tabel: *Zbiór warstw* oraz *Osoby*. Jest to główna tabela części bazy, przeznaczonej do przechowywania wiedzy o charakterze proceduralnym.

Tabela A.1: Procedura

Nazwa pola	Typ danych	Opis
Id_procedury	Autonumerowanie	Numer porządkowy procedury
Nazwa	Tekst	Nazwa charakterystyczna procedury
Id_zbior_warstw	Liczba	Identyfikator zbioru warstw tej procedury
Id_osoba	Liczba	Identyfikator osoby będącej autorem procedury



**Tabela *Zbiór warstw***

Każda procedura może się składać z podprocedur umieszczonych na poszczególnych warstwach. Tabela ta (tab. A.2) służy do przyporządkowania jednej procedurze głównej wielu warstw. Składa się z licznika rekordów oraz pól zawierających odnośniki do tabel: *Procedura* i *Warstwa*.

Tabela A.2: Zbiór warstw

Nazwa pola	Typ danych	Opis
Licznik_procedury	Autonumerowanie	Licznik rekordów
Id_zbioru	Liczba	Identyfikator zbioru warstw
Id_warstwy	Liczba	Identyfikator warstwy należącej do zbioru

**Tabela *Warstwa***

Wszystkie procedury i ich podprocedury są umieszczone na poszczególnych warstwach (s. 50). Tabela ta (tab. A.3) zawiera identyfikatory wszystkich warstw. Składa się z licznika rekordów oraz pól zawierających odnośniki do tabel: *Zbiór warstw*, *Zadania* i *Połączenia*.

Tabela A.3: Warstwa

Nazwa pola	Typ danych	Opis
Licznik_procedury	Autonumerowanie	Licznik rekordów
Id_warstwy	Liczba	Identyfikator warstwy
Id_polaczenia	Liczba	Identyfikator połączenia znajdującego się na tej warstwie
Id_zadanie_pochodzenie	Liczba	Identyfikator zadania, któremu odpowiada ta warstwa

**Tabela *Połączenia***

Tabela ta (tab. A.4) stanowi zbiór odnośników do wszystkich elementów, które mogą tworzyć daną procedurę. Każdy element procedury<sup>2</sup> jest traktowany jako

<sup>2</sup>Z wyjątkiem łączników.

swego rodzaju węzeł, mający swój poprzednik (lub poprzedniki) i następnik (lub następniki). Składa się z licznika rekordów oraz pól zawierających odnośniki do tabel: *Połączenia*, *Warstwa*, *Zadania*, *Węzły*, *Start*, *Stop*.

Tabela A.4: Połączenia

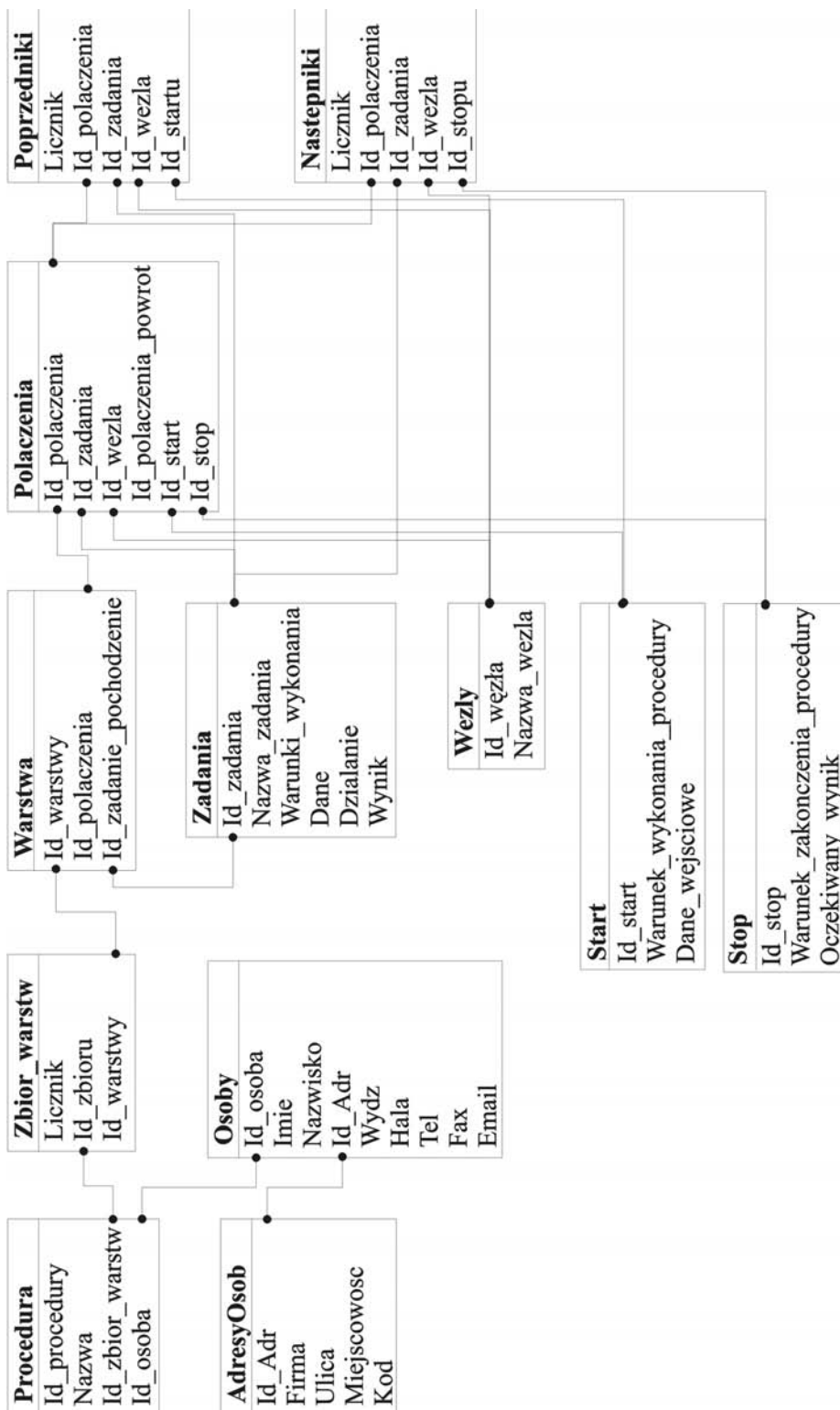
Nazwa pola	Typ danych	Opis
Id_polaczenia	Autonumerowanie	Identyfikator połączenia (rozumianego jako węzeł lub zadanie)
Id_zadania	Liczba	Identyfikator zadania, które tworzy połączenie
Id_wezla	Liczba	Identyfikator węzła sterującego, od którego połączenie pochodzi
Id_polaczenia_powrot	Liczba	Identyfikator węzła powrotu z węzła warunkowego
Id_start	Liczba	Identyfikator startu dla procedury
Id_stop	Liczba	Identyfikator stopu dla procedury

### Tabela *Poprzedniki*

Każdy element procedury (z wyjątkiem elementu „Start”) jest poprzedzony innym elementem (lub elementami), według kolejności właściwej dla danej procedury. Tabela ta (tab. A.5) stanowi zbiór odnośników do elementów będących poprzednikami dla danych elementów procedury. Składa się z licznika rekordów oraz pól zawierających odnośniki do następujących tabel: *Połączenia*, *Węzły*, *Zadania* i *Start*.

### Tabela *Następniki*

Każdy element procedury (z wyjątkiem elementu „Stop”) ma następnik (lub następniki), będący innym elementem procedury, według porządku właściwego dla danej procedury. Tabela ta (tab. A.6) stanowi zbiór odnośników do elementów



Rysunek A.1: Wydzielony fragment schematu logicznego bazy wiedzy i danych *EMPREL-PDWP*, służący do zapisu procedur

Tabela A.5: Poprzedniki

Nazwa pola	Typ danych	Opis
Licznik	Autonumerowanie	Licznik rekordów
Id_polaczenie	Liczba	Identyfikator połączenia, dla którego jest zdefiniowany poprzednik
Id_zadania	Liczba	Identyfikator zadania będącego poprzednikiem (jeśli nie jest nim węzeł sterujący)
Id_wezla	Liczba	Identyfikator węzła będącego poprzednikiem (jeśli nie jest nim zadanie)
Id_startu	Liczba	Identyfikator elementu „Start” będącego poprzednikiem

będących następnikami danego elementu procedury. Składa się z licznika rekordów oraz pól zawierających odnośniki do następujących tabel: *Połączenia*, *Węzły*, *Zadania* i *Stop*.

Tabela A.6: Następniki

Nazwa pola	Typ danych	Opis
Licznik	Autonumerowanie	Licznik rekordów
Id_polaczenie	Liczba	Identyfikator połączenia, dla którego jest zdefiniowany następnik
Id_zadania	Liczba	Identyfikator zadania będącego następnikiem (jeśli nie jest nim węzeł sterujący)
Id_wezla	Liczba	Identyfikator węzła będącego następnikiem (jeśli nie jest nim zadanie)
Id_stopu	Liczba	Identyfikator elementu „Stop” będącego poprzednikiem

**Tabela Zadania**

Tabela ta (tab. A.7) stanowi zbiór zadań będących elementami procedury. Składa się z licznika rekordów, pól niezbędnych do zdefiniowania danego zadania (s. 51) oraz pól zawierających odnośniki do tabel: *Połączenia*, *Warstwa*, *Poprzedniki* i *Następniki*.

Tabela A.7: Zadania

Nazwa pola	Typ danych	Opis
Id_zadania	Tekst	Numer porządkowy zadania
Nazwa_zadania	Tekst	Krótką nazwa zadania
Warunki_wykonania	Nota	Warunki wstępne wykonania zadania (dane, narzędzia, sprzęt itp.)
Dane	Nota	Dane np. liczbowe niezbędne do wykonania tego zadania
Działanie	Nota	Opis działania wykonywanego w ramach zadania elementarnego
Wynik	Nota	Opis oczekiwanych wyników wykonania zadania

**Tabela Węzły**

Tabela ta (tab. A.8) jest słownikiem węzłów sterujących (s. 52). Jej zawartość jest stała i nie podlega modyfikacji. Składa się z licznika rekordów oraz pola zawierającego odnośnik do tabel: *Połączenia*, *Poprzedniki* i *Następniki*.

Tabela A.8: Węzły

Nazwa pola	Typ danych	Opis
Id_wezla	Autonumerowanie	Numer porządkowy węzła sterującego
Nazwa_wezla	Tekst	Nazwa węzła sterującego

**Tabela *Start***

Tabela ta (tab. A.9) jest zbiorem początków” każdej procedury (podprocedury), formułowanych podobnie do zadania. Składa się z pól zawierających licznik rekordów oraz pól zawierających nazwy elementów „start”.

Tabela A.9: Start

Nazwa pola	Typ danych	Opis
Id_start	Autonumerowanie	Numer porządkowy startu procedury
Nazwa_startu_dla_procedury	Tekst	Nazwa startu

**Tabela *Stop***

Tabela ta (tab. A.10) jest zbiorem zakończeń” każdej procedury (podprocedury), formułowanych podobnie do zadania. Składa się z pól zawierających licznik rekordów oraz pól zawierających nazwy elementów „stop”.

Tabela A.10: Stop

Nazwa pola	Typ danych	Opis
Id_stop	Autonumerowanie	Numer porządkowy stopu procedury
Nazwa_stopu_dla_procedury	Tekst	Nazwa stopu

**Tabela *Osoby***

Tabela ta (tab. A.11) stanowi zbiór wszystkich osób-specjalistów, które są:

- autorami procedur,
- autorami reguł empirycznych,
- autorami ocen reguł empirycznych.

Składa się z pól zawierających niezbędne dane personalne wymagane do identyfikacji osób. W tabelach: *Adresy Osób*, *Procedura*, *Reguły* i *Oceny Reguł* znajdują się odnośniki do tej tabeli.

Jest to więc tabela wspólna dla części bazy do zapisu reguł empirycznych i części do zapisu procedur.

Tabela A.11: Osoby

Nazwa pola	Typ danych	Opis
Id_osoba	Autonumerowanie	Numer porządkowy osoby
Imie	Tekst	Imię osoby
Nazwisko	Tekst	Nazwisko osoby
Id_Adr	Liczba	Numer porządkowy adresu
Wydz	Tekst	Nazwa wydziału (lub innej komórki organizacyjnej)
Hala	Tekst	Nazwa lub nr hali/sali/pokoju
Tel	Tekst	Nr tel. (wraz z nr. kierunkowym)
Fax	Tekst	Nr faxu (wraz z nr. kierunkowym)
Email	Tekst	Adres e-mail

### **Tabela *Adresy Osób***

Tabela ta (tab. A.12) jest zbiorem adresów osób, których dane personalne zostały zapisane w tabeli *Osoby*. Składa się z pól zawierających licznik rekordów oraz pola zawierającego odnośnik do tabeli *Osoby*.

Tabela A.12: Adresy Osób

Nazwa pola	Typ danych	Opis
Id_Adr	Autonumerowanie	Numer porządkowy adresu kontaktowego osoby
Firma	Tekst	Nazwa firmy
Ulica	Tekst	Adres firmy (ulica)
Miejscowosc	Tekst	Adres firmy (miasto)
Kod	Tekst	Adres firmy (kod)

## A.2 Formularze do zapisu wielowarstwowych schematów blokowych

W celu ułatwienia inżynierowi wiedzy dokonywania zapisów w bazie wiedzy i danych *EMPREL-PDWP* wykonano stosowne formularze. Formularze te w szczególności służą do :

- formułowania zadań elementarnych procedury (rys. A.2),
- formułowania startu i stopu procedury,
- tworzenia struktury procedury (rys. A.3).

Do tworzenia struktury procedury z utworzonych elementów składowych służy formularz przedstawiony na rys. A.3. Pola tego formularza są zgodne z polami odpowiednich okien dialogowych programu *PDWP* (rozdz. 5.2).

Dla każdego elementu procedury istnieje potrzeba określenia jego poprzednika oraz następnika. Aby zadanie to ułatwić, w formularzu wyodrębniono zakładki (*Element procedury*, *Poprzedniki*, *Następniki* oraz *Powrót do zadania*). Dzięki zastosowaniu zakładek zwiększyła się ogólna czytelność formularza.

Id_zadania:	24
Nazwa zadania:	kontrola bicia osiowego tarczy sprzęgłowej
Warunki wykonania:	Należy dysponować przyrządem A.95361 oraz czujnikiem zegarowym z uchwytem magnetycznym
Dane wejściowe:	Bicie osiowe nie powinno przekraczać 0,25 mm
Opis działania:	Wymontowaną tarczę sprzęgłową założyć na wielowypust wałka sprzęgłowego i umieścić wałek na przyrządzie A.95361
Oczekiwany wynik wykonania zadania:	Uzyskanie informacji o wartości bicia osiowego tarczy sprzęgłowej.

Rekord: 22 z 22

Rysunek A.2: Formularz do formułowania zadania



Tworzenie procedury z elementów składowych

Elementy procedury | Poprzedniki | Następniki | Powrót do zadania

Zadanie: kontrola bicia osiowego tarczy sprzęgłowej

Start procedury:

Stop procedury:

Wzrost:

Nazwa procedury: Kontrola stanu technicznego tarczy sprzęgłowej

Zadanie, które zostało uszczegółowione do podprocedury: kontrola stanu tarczy sprzęgłowej

Nowe elementy procedury

Nowe zadanie

Nowy start procedury

Nowy stop procedury

Rekord: 36 z 36

Rysunek A.3: Formularz do tworzenia procedury z elementów składowych



## Dodatek B

# Formułowanie procedury diagnostycznej z użyciem programu *PDWP*

W tej części pracy przedstawimy przykład formułowania procedury diagnostycznej z użyciem programu PDWP. Kolejne kroki postępowania użytkownika zostaną zilustrowane rysunkami.

Pierwszą czynnością użytkownika jest nadanie nazwy procedurze (rys. 5.2 na s. 74). Następną czynnością jest zarejestrowanie się poprzez wpisanie swoich danych personalnych (rys. B.1).

Każda utworzona podprocedura również musi posiadać swą nazwę. Nazwa ta będzie wyświetlana w części graficznej okna głównego programu. Widoczne nazwy procedur (podprocedur) ułatwiają orientację użytkownikowi pośród warstw procedury.

Po wykonaniu tych czynności użytkownik może przejść do formułowania procedury. W tym celu należy wybrać z menu polecenie *Start*. Spowoduje to uaktywnienie się okna dialogowego do formułowania początku procedury (rys. B.2).

Głównymi elementami procedury są *zadania* oraz *węzły sterujące*. Poniżej przedstawiono przykład formułowania zadania. W tym celu należy wybrać z menu polecenie *Zadanie*. Spowoduje to uaktywnienie się okna dialogowego do formułowania zadania (rys. B.3). W przypadku zaistnienia potrzeby uszczegółowienia danego zadania do osobnej podprocedury, należy:

- wybrać ramkę zadania (lewy klawisz myszki), które chcemy uszczegółwić do podprocedury,

The dialog box 'Wprowadzanie danych osobowych specjalisty' contains the following fields:

- Imię :
- Nazwisko :
- Hala/pokój :
- Wydział :
- Nazwa firmy :
- Ulica :
- Faks :
- Telefon :
- Kod pocztowy :
- Miejscowość :
- E-mail :

Buttons: Zatwierdź, Anuluj

Rysunek B.1: Okno dialogowe do wprowadzania danych personalnych użytkownika-specjalisty

The dialog box 'Rozpoczęcie procedury' contains the following text:

- Warunki wykonania procedury :  
Znajomość konstrukcji sprzęgła, posiadanie przyrząd
- Dane wejściowe do wykonania procedury :  
Maksymalna wartość bicia osiowego, wymagana chr

Buttons: Zatwierdź, Anuluj

Rysunek B.2: Okno dialogowe do formułowania *Startu* procedury

- uaktywnić menu kontekstowe (prawy klawisz myszki, rys. B.4),

Każda procedura musi mieć swoje zakończenie. Aby je dodać do tworzonej procedury, należy z menu wybrać polecenie *Stop*. Uaktywnia się w ten sposób stosowne okno dialogowe (rys. B.6).

- wybrać z pozycji menu polecenie *Nowa procedura*.

Po utworzeniu kilku podprocedur (umieszczonych na osobnych warstwach), może pojawić się potrzeba zmiany aktualnie wyświetlanej warstwy zawierającej daną procedurę. W tym celu należy wybrać z menu polecenie *Nawigacja między warstwami* lub wybrać polecenie *Zmiana aktualnej warstwy* z menu kontekstowego (rozwijanego kliknięciem prawego klawisza myszki, rys. B.4).

Wynikiem tego działania jest uaktywnienie się okna zawierającego nazwy poszczególnych procedur oraz nazwy uszczegółowionych zadań (rys. B.7).

**Definiowanie nowego zadania**

Nazwa zadania  
Kontrola bicia osiowego tarczy sprzęgłowej

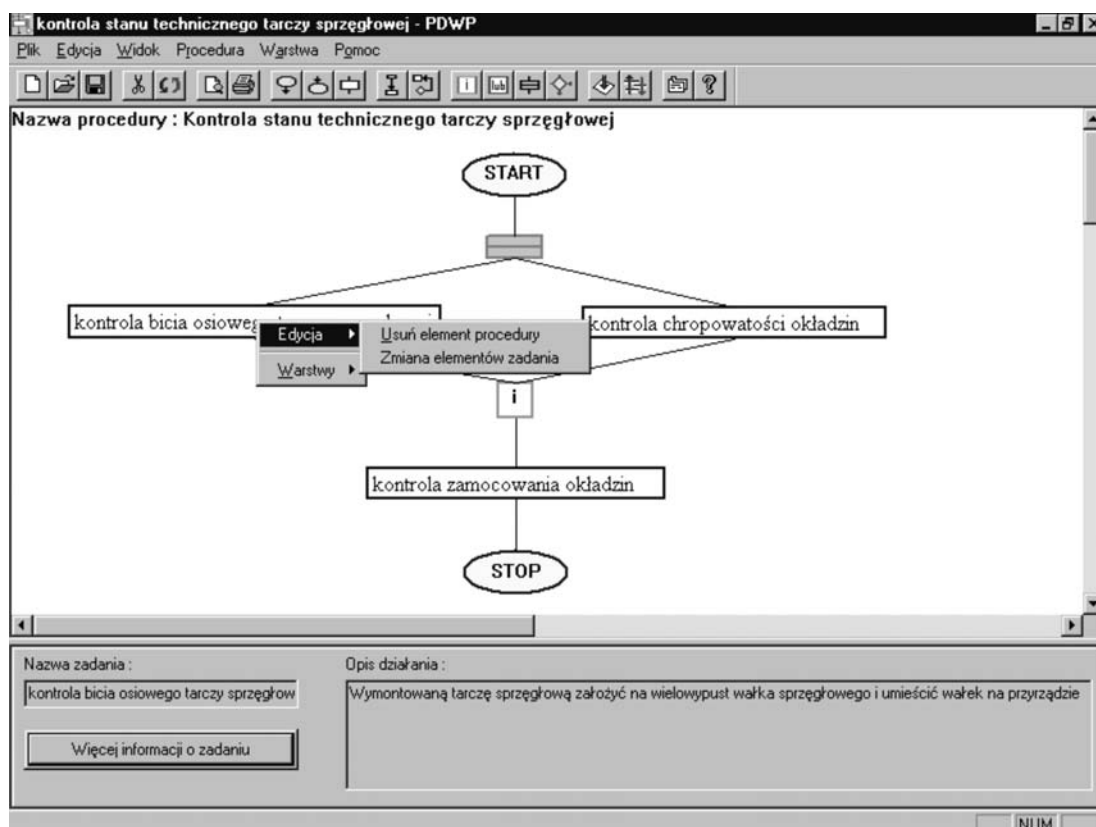
Warunki wykonania  
Potrzebny przyrząd A.95361 i czujnik zegarowy z uchwytem magn

Dane wejściowe do wykonania  
Bicie osiowe nie powinno przekraczać 0,25 mm

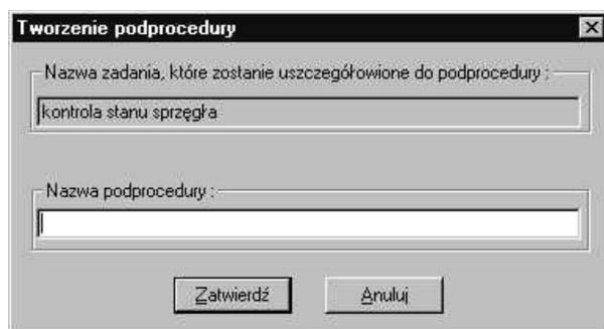
Opis działania  
Wymontowaną tarczę sprzęgłową założyć na wielowypust wałka

Oczekiwany wynik zakończenia  
Uzyskanie informacji o wartości bicia osiowego tarczy sprzęgłowej

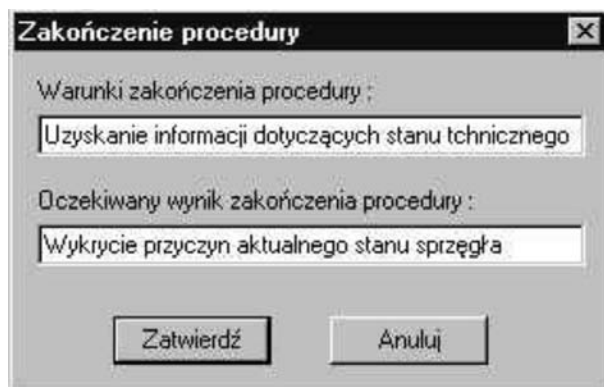
Zatwierdź    Anuluj

Rysunek B.3: Okno dialogowe do formułowania *Zadania* procedury

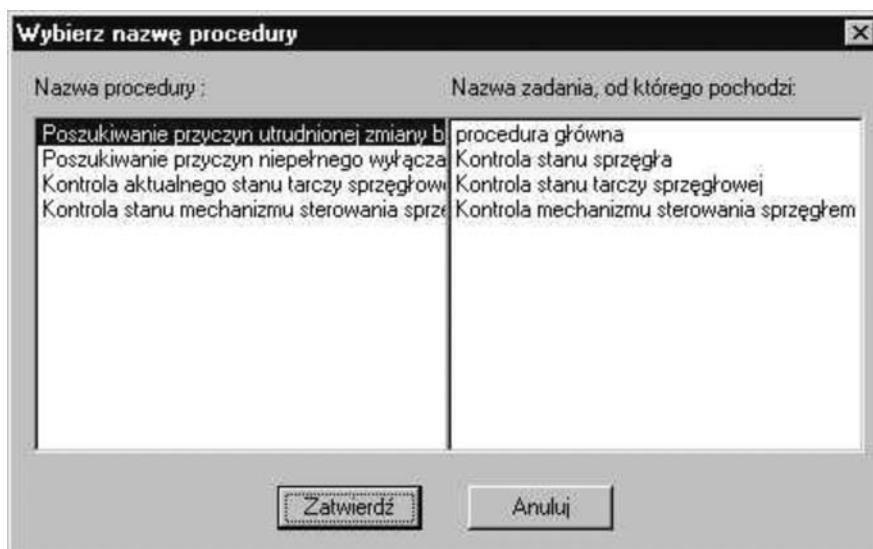
Rysunek B.4: Okno programu z widocznym rozwiniętym menu kontekstowym



Rysunek B.5: Okno dialogowe do wprowadzania nazwy nowej podprocedury (widoczna nazwa zadania uszczegółowionego do podprocedury)



Rysunek B.6: Okno dialogowe do formułowania *Stopu* procedury



Rysunek B.7: Okno dialogowe służące do zmiany aktualnej warstwy, zawierającej procedurę

## Dodatek C

# Formułowanie i ocenianie reguł empirycznych z użyciem programu *EMPREG 2*

W Dodatku C przedstawiono przykład formułowania reguły empirycznej z zastosowaniem programu *EMPREG 2*. Kolejne kroki postępowania użytkownika będą pokazane na rysunkach.

Przed przystąpieniem do sformułowania nowej reguły, użytkownik programu musi się zarejestrować, wprowadzając swoje dane personalne. Po wybraniu stosownej ikony uaktywnia się okno (rys. C.1) do wpisywania danych personalnych użytkownika. Po zarejestrowaniu się użytkownik może przystąpić do sformułowania nowej reguły (nowych reguł).

Formułowanie reguły zaczyna się od określenia jej dziedziny i konkluzji (rys. C.2), potem formułuje się przesłankę reguły. Kolejność taka, przeciwna do logicznej kolejności powstawania reguły, jest uwarunkowana strukturą bazy wiedzy *EMPREL*. Czynności te polegają na wyborze elementów składowych z odpowiednich list czy słowników. Ich zawartości dostępne są za pomocą list rozwijalnych typu „kombi”. Poza tym wyświetlana jest nazwa klasy, dla której określa się cechę tworząca konkluzję. Celem jest wizualne sprawdzenie, czy cecha ta może być zastosowana do utworzenia reguł z danej dziedziny.

Zgodnie z przyjętymi założeniami w [Moczulski, 1997], podczas definiowania reguły możliwe jest wprowadzanie nowych elementów, które są aktualnie potrzebne specjalistom do zapisu danej reguły<sup>1</sup>. W szczególności specjalista podczas

---

<sup>1</sup>Oczywiście elementy te można utworzyć jeszcze przed przystąpieniem do formułowania nowej reguły.

The dialog box 'Dane osobowe specjalisty' is divided into two main sections. The left section, 'Dane osobowe', includes input fields for 'Imię' and 'Nazwisko', a dropdown for 'Wybierz nazwę firmy', a field for 'Wydział', and fields for 'Hala', 'Telefon', 'Faks', and 'E-mail'. The right section, 'Dane lokalizacyjne nowej firmy', includes fields for 'Nowa nazwa firmy', 'Ulica', 'Kod pocztowy', and 'Miejscowość'. Below these is a dropdown menu titled 'Osoby zarejestrowane w bazie danych' which is currently open, displaying a list with 'Wojciech Moczulski' selected and 'Marek Wyleżół' below it. At the bottom are 'Zatwierdź' and 'Anuluj' buttons.

Rysunek C.1: Okno dialogowe do wprowadzania danych osobowych specjalisty (widoczna rozwinięta lista do wyboru wpisanych już wcześniej danych osobowych w celu wznowienia pracy z programem)

The dialog box 'Formułowanie nowej reguły - konkluzja' features several dropdown menus and buttons. The 'Dziedzina reguły' dropdown is set to 'Reguły wspólne dla maszyn wirnikowych', with a 'Nowa dziedzina reguły' button to its right. The 'Nazwa cechy stosowanej do określenia konkluzji reguły' dropdown is set to 'stan niewyrównowazenia', with a 'Nowa cecha' button to its right. The 'Nazwa wartości cechy' dropdown is set to 'statyczne', with a 'Nowa wartość cechy' button to its right. The 'Źródło reguły' dropdown is set to 'Marek Wyleżół'. At the bottom, there is a 'Przesłanka' button, and 'Zatwierdź' and 'Anuluj' buttons.

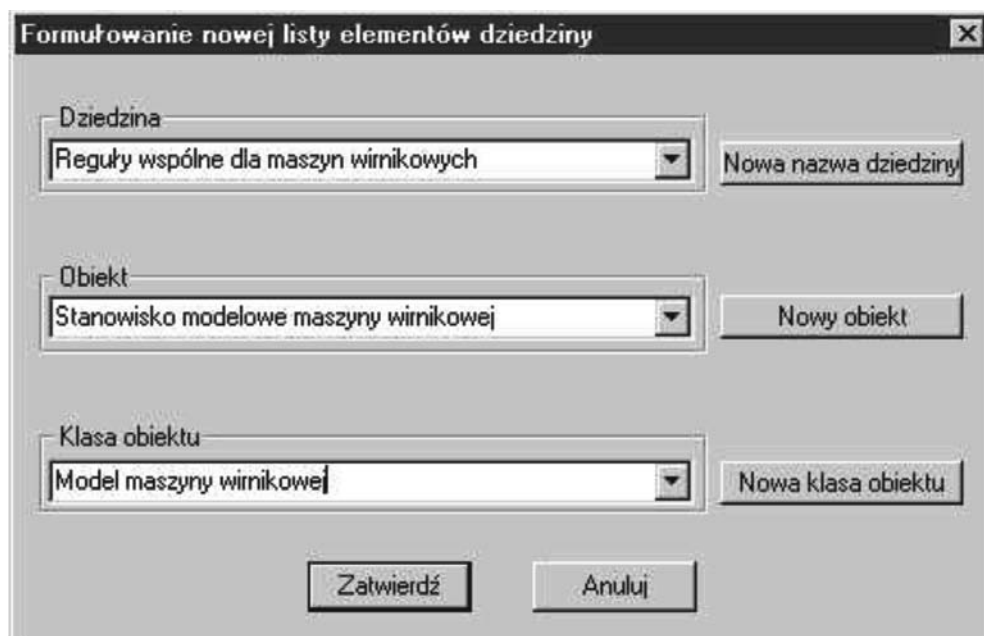
Rysunek C.2: Okno dialogowe do formułowania dziedziny oraz konkluzji reguły

formułowania reguły może wprowadzić:

- dziedzinę reguły,
- nazwy atrybutów tak dla konkluzji, jak i przesłanki reguły,
- wartości cech.



Na rys. C.3 przedstawiono okno służące do wprowadzania nowej dziedziny dla reguły<sup>2</sup>.



Rysunek C.3: Okno dialogowe do formułowania nowej dziedziny reguły

Na rys. C.4 pokazano sposób wprowadzania danych określających nowy atrybut, służący do utworzenia cechy. Rodzaj i typ atrybutu są określone przez stałą zawartość bazy *EMPREL*, nie można więc tych słowników zmieniać. Inne elementy służące do formułowania cechy mogą być uzupełniane.

Na zakończenie (rys. C.5) przedstawiono okno dialogowe do wprowadzania przesłanki reguły. Do określenia przesłanki reguły potrzebne jest określenie listy selektorów (warunków prostych). Podczas wprowadzania nowych atrybutów można dodać:

- atrybuty dla warunków przesłanki,
- atrybuty dla konkluzji.

W przypadku rozbudowanej przesłanki (koniunkcja warunków) po każdorazowym dodaniu warunku należy nacisnąć przycisk *„Dodaj warunek”*.

Zapisane w bazie reguły są oceniane przez specjalistów (zwykle nie będących autorami reguł). W fazie oceny reguły w oknie głównym programu są wyświetlane jej części składowe (rys. C.6). Są nimi:

<sup>2</sup>W tym przypadku do dziedziny należy konkretny obiekt z pewnej klasy obiektów.

- numer reguły,
- nazwa dziedziny reguły,
- wykaz klas i obiektów, stanowiących obszar jej zastosowania,
- przesłanka,
- konkluzja.

The dialog box 'Wprowadzanie nowych atrybutów' (Introducing new attributes) contains the following fields and controls:

- Klasy obiektów** (Object classes): Dropdown menu with 'Maszyny wirnikowe' (Turbine machines) selected. A 'Nowa klasa' (New class) button is located to the right.
- Rodzaj** (Type): Dropdown menu with 'Atrybut fazy eksploatacji' (Operational phase attribute) selected.
- Typ** (Type): Dropdown menu with 'Atrybuty "pomiarowe" (o wartościach ciągłych)' (Measurement attributes (with continuous values)) selected.
- Nazwa atrybutu** (Attribute name): Text input field containing 'prędkość obrotowa' (rotational speed).
- Jednostka** (Unit): Dropdown menu with 'obrotów na minutę' (revolutions per minute) selected. A 'Nowa jednostka' (New unit) button is located to the right.
- Delta T [s]**: Text input field containing '0'.
- Buttons: 'Zatwierdź' (Confirm) and 'Anuluj' (Cancel) are located at the bottom.

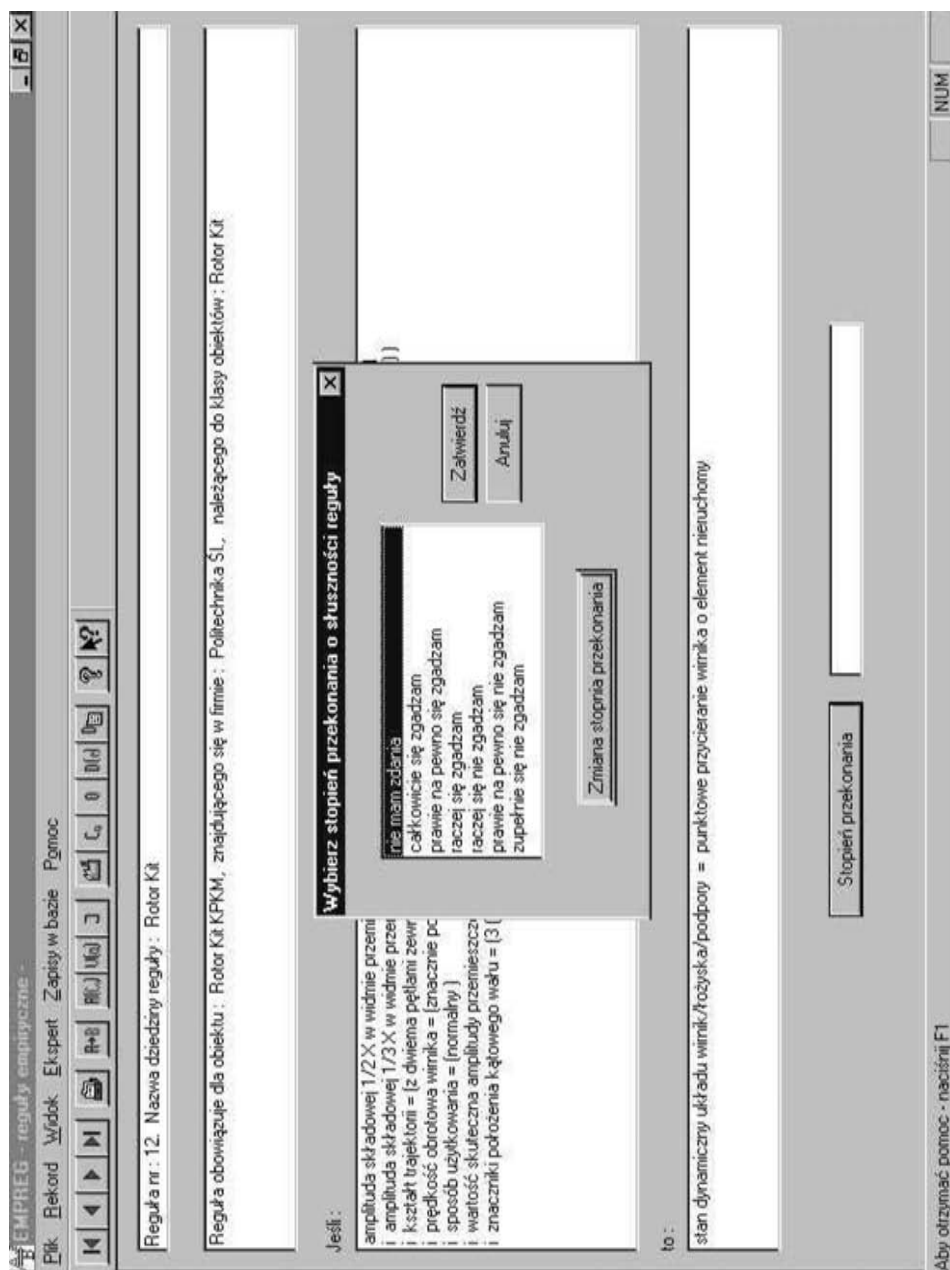
Rysunek C.4: Okno dialogowe, na którym widoczny jest sposób wprowadzania danych określających nowy atrybut

W celu dokonania oceny reguły, specjalista wybiera jedną z wartości stopnia przekonania o słuszności reguły, określonych w bazie wiedzy. Wybrana wartość stopnia przekonania jest zapisywana w bazie wiedzy wraz z identyfikatorem autora oceny [Moczulski, 1997].

The dialog box, titled "Formułowanie nowej reguły - przesłanka", is used for defining a rule condition. It contains the following elements:

- Nazwa cechy stosowanej do określenia przesłanki reguły:** A dropdown menu with the value "prędkość obrotowa wirnika". A "Nowa cecha" button is located to the right.
- Klasa, dla której jest określona cecha:** A text input field containing "Stanowisko modelowe".
- Operator relacji:** A dropdown menu with the value "=".
- Wartość początkowa cechy w warunku przesłanki:** A dropdown menu with the value "krytyczna". A "Nowa wartość cechy" button is located to the right.
- Wartość końcowa cechy w warunku przesłanki:** A dropdown menu with the value "krytyczna". A "Nowa wartość cechy" button is located to the right.
- Buttons:** "Dodaj warunek" (Add condition), "Zatwierdź" (OK), and "Anuluj" (Cancel).

Rysunek C.5: Okno dialogowe do formułowania nowej przesłanki reguły



Rysunek C.6: Wybór stopnia przekonania dla oceny reguły

# Literatura

- [ACQUIRE, 1997] ACQUIRE: *Specialists in Knowledge Acquisition and Knowledge-Based Development*, Internet <http://www.com/home/aiinc>.
- [Act-Editor, 1997] Act-Editor: *Procedural Knowledge Browser/Editor*, Internet <http://www.ai.sri.com/~act>.
- [Addis, 1985] T. R. Addis, *Designing Knowledge-Based Systems*, Kogan Page, London.
- [Ajdukiewicz, 1958] K. Ajdukiewicz, *Zarys logiki*, Państwowe Zakłady Wydawnictw Szkolnych, Warszawa.
- [Ajdukiewicz, 1960] K. Ajdukiewicz, *Język i poznanie*, Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa.
- [Bazewicz, 1993] M. Bazewicz, *Wstęp do systemów informatycznych i reprezentacji wiedzy*, Wydawnictwo Pol. Wrocławskiej, Wrocław.
- [Bazewicz, 1994] M. Bazewicz, *Metody i techniki reprezentacji wiedzy w projektowaniu systemów*, Wydawnictwo Politechniki Wrocławskiej, Wrocław.
- [Bently Nevada, 1996] Bently Nevada, *Rotor Kit. Instruction Manual No. TW8029319*, Minden NV.
- [Białko, 1997] M. Białko, *Czy komputerowe systemy ekspertowe mogą zastąpić ekspertów-ludzi*, Internet <http://www.pg.gda.pl/PismoPG/nr1/czykomp.html>.
- [Bolc, Zaremba, 1992] L. Bolc, J. Zaremba, *Wprowadzenie do uczenia się maszyn*, Akademicka Oficyna Wydawnicza, Warszawa.
- [Bubnicki, 1990] Z. Bubnicki, *Wstęp do systemów ekspertowych*, PWN, Warszawa.

- [Buchanan *et al.*, 1983] B. G. Buchanan *et al.*, *Constructing an Expert System*, [W:] F. Hayes-Roth, D. A. Waterman (Eds.), *Building Expert Systems*, s. 127-168, Addison-Wesley, Reading MA.
- [CAKE 2.2, 1998] CAKE 2.2 Komputerowy system wspomaganie inżynierii wiedzy, Internet: <http://www.aitech.gliwice.pl/cake22.htm>.
- [Cempel, 1985] Cz. Cempel, *Diagnostyka wibroakustyczna maszyn*, PWN, Warszawa.
- [Chmielewski, Grzymała-Busse, 1992] M. R. Chmielewski, J. W. Grzymała-Busse, *Global Discretization of Continuous Attributes as Preprocessing for Inductive Learning*, TR 92-7, Departament of Computer Science, University of Kansas, Lawrence, KS.
- [Cholewa, 1993] W. Cholewa, *Szkieletowy system doradczy MAS. Dokumentacja użytkownika*, Zeszyt RMT6081 (maszynopis — Dokumentacja Systemu MAS, Tom II), Gliwice.
- [Cholewa, 1996] W. Cholewa, *Diagnostyczny system doradczy DT3D100. Założenia ogólne*. Raport częściowy z realizacji projektu PBZ-038-06, KPKM Pol. Śląskiej, Gliwice.
- [Cholewa, 1997] W. Cholewa, *Diagnostyczny system doradczy DT3D100. Organizacja procesu wnioskowania*. Raport częściowy nr DT6D131 z realizacji projektu PBZ-038-06, KPKM Pol. Śląskiej, Gliwice.
- [Cholewa, Czogała, 1989] W. Cholewa, E. Czogała, *Podstawy systemów ekspertowych*. Prace IBIB PAN, Warszawa.
- [Cholewa, Kaźmierczak, 1995] W. Cholewa, J. Kaźmierczak, *Diagnostyka techniczna maszyn. Przetwarzanie cech sygnałów*, Skrypt uczelniany Pol. Śląskiej nr 1904, Gliwice.
- [Cholewa, Kiciński, 1997] W. Cholewa, J. Kiciński (Red.), *Diagnostyka techniczna. Odwrotne modele diagnostyczne*, Monografia, Wydawnictwo Pol. Śląskiej, Gliwice.
- [Cholewa, Moczulski, 1990] W. Cholewa, W. Moczulski, *Systemy doradcze w diagnostyce technicznej. Zasady konstruowania*, Zagadnienia Eksploatacji Maszyn, z. 4 (84), s. 519-527.

- [Cholewa, Moczulski, 1990a] W. Cholewa, W. Moczulski, *Systemy doradcze w diagnostyce technicznej. Istota działania*, Zagadnienia Eksploatacji Maszyn, z. 2-3 (82-83), s. 331-342.
- [Cholewa, Moczulski, 1993] W. Cholewa, W. Moczulski, *Diagnostyka techniczna maszyn. Pomiar i analiza sygnałów*, Skrypt uczelniany Pol. Śląskiej nr 1758, Gliwice.
- [Cholewa, Pedrycz, 1987] W. Cholewa, W. Pedrycz, *Systemy doradcze*, Skrypt uczelniany Pol. Śląskiej nr 1447, Gliwice.
- [Chromiec, Strzemieczna, 1995] J. Chromiec, E. Strzemieczna, *Sztuczna inteligencja. Metody konstrukcji i analizy systemów eksperckich*, Akademicka Oficyna Wydawnicza PLJ, Warszawa.
- [CLIPS, 1998] CLIPS: *A Tool for Building Expert Systems*, Internet <http://www.jsc.nasa.gov/~clips/CLIPS.html>.
- [Dietrych, 1985] J. Dietrych, *System i konstrukcja*, WNT, Warszawa.
- [Dąbrowski, 1997] Z. Dąbrowski, *Wykorzystanie modeli nieliniowych w diagnostyce wibroakustycznej*, Materiały XXIV Ogólnopolskiego Sympozjum Diagnostyka Maszyn, s. 52-61, Pol. Śląska., Katowice.
- [Dąbrowski, 1998] Z. Dąbrowski, *Rezonans liniowy jako symptom diagnostyczny*, Materiały XXV ogólnopolskiego sympozjum Diagnostyka Maszyn, s. 73-82, Pol. Śląska., Katowice.
- [Dutta, 1993] S. Dutta, *Review: Knowledge Processing & Applied Artificial Intelligence*, Internet <http://www.scism.sbu.ac.uk/~inmandw/knowacq/review/rev16576.html>.
- [Hayes-Roth *et al.*, 1983] F. Hayes-Roth, D. A. Waterman, D. B. Lenat, *Building Expert Systems*, Addison-Wesley Publishing Company, Inc., London, Amsterdam, Ontario, Tokyo.
- [Jackson, 1990] P. Jackson, *Introduction to Expert Systems*, Addison Wesley (wyd. II).

- [Jagielski, 1997] J. Jagielski, *Pozyskiwanie wiedzy od ekspertów na etapie projektowania i wdrażania systemu eksperckiego*, [W:] II krajowa konferencja naukowo-techniczna „Diagnostyka Procesów Przemysłowych”, materiały s. 215–220, Pol. Zielonogórska, Zielona Góra.
- [Kiciński, Cholewa, 1998] J. Kiciński, W. Cholewa, *Opracowanie nowoczesnych systemów diagnostycznych turbozespołów krajowych bloków energetycznych dużej mocy*. Projekt Badawczy Zamawiany PBZ 038-06.
- [Klimek, 1999] A. Klimek, *Metody doskonalenia odwrotnych modeli diagnostycznych*, Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Mechanika z.134, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice.
- [Korbicz, 1994] J. Korbicz, *Sztuczne sieci neuronowe*, Akademicka Oficyna Wydawnicza, Warszawa.
- [Korbicz, 1996] J. Korbicz, *Metody sztucznej inteligencji w diagnostyce technicznej. Przegląd struktur i technik*, [W:] Kongres Diagnostyki Technicznej, Materiały, t. II, s. 373–380, KPKM Pol. Śląskiej i IMP PAN Gdańsk.
- [Liebowitz, 1997] J. Liebowitz, *The Handbook of Applied Expert Systems*, rozdz. 2.1 - 2.11, CRC Press.
- [Liou, 1998] Yihwa Irene Liou, *Expert System Technology: Knowledge Acquisition*, [W:] J. Liebowitz, *The Handbook of Applied Expert Systems*, CRC Press LLC.
- [Łączkowski, 1983] R. Łączkowski, *Wibroakustyka maszyn i urządzeń*, WNT, Warszawa.
- [Maniak, Moczulski, 1997] P. Maniak, W. Moczulski, *Przykład indukcji reguł dotyczących postaci niewyrównowazenia wirnika*, [W:] I krajowa konferencja „Metody i systemy komputerowe w badaniach naukowych i projektowaniu inżynierskim”, materiały s. 159–164, Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków.
- [McGraw, Harbison-Briggs, 1989] K.L. McGraw, Harbison-Briggs K., *Knowledge Acquisition: Principles and Guidelines*, Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ.
- [Michalski, 1983] R. S. Michalski, *A Theory and Methodology of Inductive Learning*, Artificial Intelligence 20/1983, s. 111-161.



- [Michalski, 1988] R. S. Michalski, K. A. Kaufman, *Multistrategy data mining via the KGL metalanguage*, [W:] International Workshop on Intelligent Information Systems VII, materiały s. 39–48, Instytut Podstaw Informatyki Polskiej Akademii Nauk, Warszawa.
- [Mikulczyński, Samsonowicz, 1997] T. Mikulczyński, Z. Samsonowicz, *Automatyzacja dyskretnych procesów produkcyjnych*, WNT, Warszawa.
- [Moczulski, 1994] W. Moczulski, *Problems of Knowledge Acquisition for Diagnostic Expert Systems*, [W:] Proc. IMEKO XIII World Congress, vol. 2, s. 1224–27, Torino.
- [Moczulski, 1994a] W. Moczulski, *Metody tworzenia systemów objaśniających w procesach komputerowego wspomagania prac inżynierskich*, Raport RMT6215 z realizacji pracy BK-30/RMT-6/94, KPKM, Pol. Śląska, Gliwice.
- [Moczulski, 1996] W. Moczulski, *Metody akwizycji wiedzy diagnostycznej*, [W:] XXIII sympozjum „Diagnostyka Maszyn”, Referaty, s. 44–49, Pol. Śląska, Katowice.
- [Moczulski, 1996a] W. Moczulski, *Metody akwizycji wiedzy dla diagnostycznych systemów doradczych*, [W:] Kongres Diagnostyki Technicznej, Materiały, t. III, s. 79–84, KPKM Pol. Śląskiej i IMP PAN, Gdańsk.
- [Moczulski, 1997] W. Moczulski, *Metody pozyskiwania wiedzy dla potrzeb diagnostyki maszyn*, Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Mechanika z.130. Politechnika Śląska, Gliwice.
- [Moczulski, 1997a] W. Moczulski, *Koncepcja empirycznej relacji diagnostycznej*, [W:] XXIV Sympozjum „Diagnostyka Maszyn”, Referaty, s. 157–162, Instytut Transportu, Pol. Śląska, z. 1/97, Pol. Śląska, Katowice.
- [Moczulski, 1997b] W. Moczulski, *Diagnostic knowledge acquisition using empirical relationships*, [W:] Proceedings of the IMP’97 Conference „Modelling and Design in Fluid-Flow Machinery”, s. 257-262, Wydawnictwo IMP PAN, Gdańsk.
- [Moczulski, 1997c] W. Moczulski, *Wspomaganie procesu pozyskiwania wiedzy w systemie DT200 diagnostyki turbozespołów energetycznych*, [W:] III konferencja „Problemy Badawcze Energetyki Ciepłej”, Prace naukowe - Konferencje” z. 15, t. II, s. 38–41.

- [Moczulski *et al.*, 1997] W. Moczulski, K. Ciupke, P. Maniak, M. Wyleźoń, *Pozyskiwanie wiedzy projektowej i konstrukcyjnej metodami indukcyjnymi*, [W:] XI konferencja „Metody i środki projektowania wspomaganego komputerowo”, s. 255–262, Inst. Podstaw Budowy Maszyn, Pol. Warszawska, Warszawa.
- [Moczulski *et al.*, 1997a] W. Moczulski i inni, *Akwizycja wiedzy dla potrzeb diagnostyki technicznej*, Sprawozdanie z realizacji projektu badawczego nr 8 T11F 020 09 (PBU-74/RMT-6/95), KPKM, Pol. Śląska, Gliwice.
- [Moczulski, Kostka, 1997] W. Moczulski, P. Kostka, *Pozyskiwanie reguł metodą indukcji drzew decyzyjnych dla przypadku złożonej struktury zbioru stanów*, Raport RMT6374, KPKM, Pol. Śląska, Gliwice.
- [Moczulski, Maniak, 1997] W. Moczulski, P. Maniak, *Pozyskiwanie reguł metodą selektywnej indukcji z wyników obliczeń symulacyjnych dotyczących różnych postaci niewyrównoważenia*, Raport RMT6357, KPKM, Pol. Śląska, Gliwice.
- [Moczulski, Wyleźoń, 1997] W. Moczulski, M. Wyleźoń, *Pozyskiwanie relacji empirycznych dla potrzeb diagnostyki maszyn*, [W:] III krajowa konferencja „Inżynieria wiedzy i systemy ekspertowe”, t. II, s. 160–164, Oficyna Wydawnicza Pol. Wrocławskiej, Wrocław.
- [Moczulski, Żytkow, 1997] W. Moczulski, J. M. Żytkow, *Automated Search for Knowledge on Machinery Diagnostics*, [W:] Proceedings of the Workshop „Intelligent Information Systems” IIS’97, s. 194-203, Inst. Podstaw Informatyki PAN, Warszawa.
- [Morel, 1992] J. Morel, *Drgania maszyn i diagnostyka ich stanu technicznego*, PTDT, Warszawa.
- [Mulawka, 1996] J. J. Mulawka, *Systemy ekspertowe*, WNT, Warszawa.
- [Ochmańska, 1994] M. Ochmańska, *Kryteria doboru metod tworzenia systemów wiedzy*, Prace Naukowe Akademii Ekonomicznej we Wrocławiu: Informatyka ekonomiczna, z. nr 691, Wrocław.
- [Olson, Reuter, 1987] J. R. Olson, H. H. Reuter, *Extracting Expertise from Experts: Methods for Knowledge Acquisition*, Expert Systems, (4:3), August, s. 152-168.

- [Parsaye, Chignell, 1988] K. Parsaye, M. Chignell, *Expert Systems for Experts*, J. Wiley and Sons, Inc., New York.
- [Pasenkiewicz, 1979] K. Pasenkiewicz, *Logika ogólna*, PWN, Warszawa.
- [Pau, 1981] L.-F. Pau, *Failure Diagnosis and Performance Monitoring*, Marcel Dekker, New York.
- [Pawlak, 1992] Z. Pawlak, *Rough Sets - Theoretical Aspects of Reasoning about Data*, Kluwer Academic Publishers.
- [Pieczyński, 1999] A. Pieczyński, *Komputerowe systemy diagnostyczne procesów przemysłowych*, Wydawnictwo Politechniki Zielonogórskiej, Zielona Góra.
- [PN-71/T-01016, 1971] Polska Norma. Przetwarzanie danych i komputery. Podstawowe nazwy i określenia. Wydawnictwa Normalizacyjne, Warszawa.
- [Przybysz, 1991] J. Przybysz, *Turbogeneratory. Eksploatacja i diagnostyka*, WNT, Warszawa.
- [Puzoń, Moczulski, 1996] J. Puzoń, W. Moczulski, *Akwizycja wiedzy diagnostycznej od ekspertów dziedzinowych z zastosowaniem formularzy*, [W:] Kongres Diagnostyki Technicznej, t. III, s. 189–194, KPKM Pol. Śląskiej i IMP PAN, Gdańsk.
- [Quinlan, 1986] J. R. Quinlan, *Induction of Decision Trees*, Machine Learning, 1 (1986), s. 81-106.
- [Loftin *et al.*, 1997] R. B. Loftin, T. Saito, C. Ortiz, *On the Acquisition and Representation of Procedural Knowledge*, Internet <http://www.vetl.uh.edu/KnowSys/arpk.html>.
- [Rosetta, 1998] Rosetta: *A Rough Set Toolkit for Analysis of Data*, Internet: <http://www.idi.ntnu.no/~aleks/rosetta/rosetta.html>.
- [Smok, 1994] B. Smok, *Sposoby weryfikacji wiedzy pozyskanej od eksperta*, Prace Naukowe Akademii Ekonomicznej we Wrocławiu: Informatyka Ekonomiczna, z. nr 691, Wrocław.
- [Smok, 1994a] B. Smok, *Problemy związane z pozyskiwaniem wiedzy od eksperta*, Prace Naukowe AE we Wrocławiu: Informatyka, z. nr 683, Wrocław.

- [Sobczak, Malina, 1985] W. Sobczak, W. Malina, *Metody selekcji i redukcji informacji*, WNT, Warszawa.
- [Tadeusiewicz, 1993] R. Tadeusiewicz, *Sieci neuronowe*, Akademicka Oficyna Wydawnicza RM, Warszawa.
- [TARGET, 1992] TARGET: *Task Analysis Rule GEneration Tool*, Internet <http://ww.vetl.uh.edu/KnowSys/overview.html>.
- [Traczyk *et al.*, 1995] W. Traczyk i inni, *Problemy sztucznej inteligencji*, Wiedza i Życie, Warszawa.
- [Turban, 1993] E. Turban, *Review: Knowledge Acquisition*, Internet: <http://www.scism.sbu.ac.uk/~inmendw/review/knowacq/rev11656.html>.
- [Wyleźoł, 1997] M. Wyleźoł, *Elektroniczny formularz-edytor do pozyskiwania reguł empirycznych dla celów diagnostycznych*, [W:] I krajowa konferencja „Metody i systemy komputerowe w badaniach naukowych i projektowaniu inżynierskim”, materiały s. 179–184, AGH, Kraków.
- [Wyleźoł, 1997a] M. Wyleźoł, *Formularz - edytor elektroniczny EMPREG 2. Instrukcja użytkownika*, Raport RMT6410 z realizacji projektu PBU-74/RMT-6/95, KPKM Pol. Śląska, Gliwice.
- [Wyleźoł, 1998] M. Wyleźoł, *Electronic form - editor for acquisition of empirical rules from experts for the purpose of diagnostics*, [W:] VII Międzynarodowe Sympozjum IIS'98, materiały s. 231–234, Instytut Podstaw Informatyki PAN, Warszawa.
- [Wyleźoł, 1998a] M. Wyleźoł, *Zastosowanie formularza elektronicznego do wspomaganie procesu pozyskiwania wiedzy diagnostycznej*, [W:] VI konferencja „Pozyskiwanie wiedzy z baz danych”, materiały s. 98–106, Wydawnictwo AE im. Oskara Langego, Wrocław.
- [Wyleźoł, 1999] M. Wyleźoł, *Koncepcja metody reprezentacji diagnostycznej wiedzy proceduralnej w postaci wielowarstwowych schematów blokowych*, [W:] VII konferencja „Pozyskiwanie wiedzy z baz danych”, materiały s. 145–148, Wydawnictwo AE im. Oskara Langego, Wrocław.
- [Wyleźoł, 2000] M. Wyleźoł, *Weryfikacja metody pozyskiwania procedur diagnostycznych od specjalistów w dziedzinie eksploatacji maszyn*, Raport RMT 6549, KPKM Pol. Śląska, Gliwice.

- [Wyleżoń, 2000a] M. Wyleżoń, *Weryfikacja metody pozyskiwania reguł empirycznych od specjalistów w dziedzinie eksploatacji maszyn*, Raport RMT 6550, KPKM Pol. Śląska, Gliwice.
- [Yourdon, 1996] E. Yourdon, *Współczesna analiza strukturalna*, WNT, Warszawa.
- [Zadeh, 1965] L.A. Zadeh, *Fuzzy sets*, Information and Control 8, s. 338-353.
- [Żółtowski, 1996] B. Żółtowski, *Podstawy diagnostyki maszyn*, Wydawnictwo Uczelniane ATR, Bydgoszcz.
- [Żółtowski, Jankowski, Ćwik, 1994] B. Żółtowski, M. Jankowski, Z. Ćwik, *Diagnostyka techniczna pojazdów*, Wydawnictwo ATR, Bydgoszcz.
- [Żytkow, Zembowicz, 1993] J.M. Żytkow, R. Zembowicz, *Database Exploration in Search of Regularities*, Journal of Intelligent Information Systems, 2 (1993), s. 39-81.

# Metody pozyskiwania procedur i relacji diagnostycznych od specjalistów w dziedzinie eksploatacji maszyn

## Streszczenie

Praca stanowi próbę nowego podejścia do rozwiązania zadania pozyskania wiedzy diagnostycznej od specjalistów. Zakłada się, że wiedza ta pozyskiwana jest w celu zastosowania jej w bazie wiedzy systemu doradczego.

Omówienie zagadnień związanych z pozyskiwaniem wiedzy od specjalistów rozpoczęto od przedstawienia przeglądu aktualnego stanu wiedzy, w kontekście rozwoju metod i technik pozyskiwania wiedzy. Mając na uwadze obecny stan wiedzy, sformułowano problem badawczy oraz określono cel rozprawy, którym było opracowanie metod i środków pozyskiwania wiedzy diagnostycznej od specjalistów. Następnie wysunięto tezy: pierwszą związaną z możliwością uzyskiwania zobiektywizowanych ocen reguł i drugą, dotyczącą zastosowania wielowarstwowych schematów blokowych jako środka reprezentacji wiedzy proceduralnej. Następnie szczegółowo przedstawiono przedmiot badań autora, obejmujący typowy proces pozyskiwania wiedzy diagnostycznej od specjalistów, scharakteryzowano również uczestników tego procesu i przedstawiono też możliwe problemy związane ze wspomnianym procesem.

Głównym elementem pracy było opracowanie metod pozyskiwania wiedzy diagnostycznej od specjalistów. Opracowane metody uwzględniają podział wiedzy diagnostycznej na wiedzę deklaratywną i proceduralną. Do pozyskiwania wiedzy deklaratywnej zastosowano reguły empiryczne, jako środek reprezentacji wiedzy. Natomiast do reprezentacji wiedzy proceduralnej zastosowano opracowane przez autora wielowarstwowe schematy blokowe. Zaproponowano również sposób oceny reguł przez specjalistę i agregacji ocen reguł pozyskanych od wielu specjalistów.

Wspomniane metody były podstawą do opracowania środków wspomagających realizację procesu pozyskiwania wiedzy diagnostycznej od specjalistów. Do pozyskiwania reguł empirycznych od specjalistów zastosowano formularz elektroniczny” *EMPREG 2*. Natomiast do zapisu procedur diagnostycznych użyto edytora wielowarstwowych schematów blokowych *PDWP*. Pozyskana wiedza została zapisana w zmodyfikowanej przez autora bazie danych i wiedzy *EMPREL-PDWP*.

Weryfikacja opracowanych metod i środków wspomagających proces pozyskiwania wiedzy wykazała m.in. ich przydatność do pozyskiwania wiedzy diagnostycznej, a także przydatność zaproponowanego sposobu oceniania reguł i agregacji ocen w bazie danych i wiedzy. Tym samym zostały potwierdzone wysunięte na wstępie pracy tezy.

**Słowa i zwroty kluczowe:** diagnostyka maszyn, system doradczy, baza wiedzy, pozyskiwanie wiedzy od specjalistów, wielowarstwowe schematy blokowe, reguły, stwierdzenia, formularz elektroniczny”

**Dziedziny:** diagnostyka maszyn, eksploatacja maszyn

# Methods of acquisition of diagnostic procedures and relationships from machinery exploitation domain experts

## Abstract

The dissertation deals with a new approach to diagnostic knowledge acquisition from domain experts. It is assumed that this knowledge is acquired in order to put it down into a knowledge base of an expert system.

The discussion of problems concerning knowledge acquisition from domain experts has begun with a review of the recent state of art on methods and techniques of knowledge acquisition. Taking into account the present state of art, a research problem and a goal of the dissertation has been formulated depending on the elaboration of methods and tools of diagnostic knowledge acquisition from domain experts. Two theses have been formulated, while the first is connected with the possibility of obtaining objective estimates of rules, and the second concerns the application of multi-layer block schemes as a means of representation of procedural knowledge. Then, the object of research has been described in detail. A typical process of diagnostic knowledge acquisition from domain experts was described, and participants of this process were characterized with possible problems connected with the discussed process were presented. The object of the author's research has been presented, and its participants characterised. Moreover, other problems that might occur during this process, have been described.

The main part of the dissertation has been to elaborate methods of diagnostic knowledge acquisition from domain experts. The methods correspond to both declarative and procedural knowledge. Empirical rules have been applied for the acquisition of declarative knowledge, while multi-layer block schemata have been used for the acquisition of procedural knowledge. Furthermore, ways of the assessment and aggregation of scores of the rules acquired from multiple experts have been proposed.

The above mentioned methods have been the basis of elaboration of the means that aid the accomplishment of the process of diagnostic knowledge acquisition from domain experts. To acquire empirical rules from domain experts, an electronic form "EMPREG 2" has been applied. Diagnostic procedures have been acquired from the experts by means of a multi-layer block schemata editor PDWP. Acquired knowledge has been collected in a modified data and knowledge base EMPREL-PDWP, this had been previously modified by the author.

The verification of the elaborated methods and tools, which aid the process of knowledge acquisition from domain experts, has proven their usefulness for the acquisition of diagnostic knowledge and the usefulness of the proposed ways of evaluation of rules and aggregation of rules' scores, that may then be put down into the data and knowledge base.

**Key words and phrases:** technical diagnostic of machinery, expert system, knowledge base, knowledge acquisition from domain experts, multi-layer block schemata, rules, electronic form

**Domains:** technical diagnostic of machinery, exploitation of machinery





# Spis rysunków

3.1	Pozyskiwanie wiedzy od specjalisty w sposób bezpośredni . . . . .	35
3.2	Pozyskiwanie wiedzy od specjalisty w sposób pośredni . . . . .	35
4.1	Graficzna reprezentacja wielowarstwowych schematów blokowych . . . . .	50
4.2	Elementy tworzące zadanie . . . . .	51
4.3	Symbol graficzny zadania . . . . .	52
4.4	Symbol graficzny zadania złożonego . . . . .	52
4.5	Symbol graficzny zadania rozpoczęcia procedury . . . . .	52
4.6	Symbol graficzny zadania zakończenia procedury . . . . .	52
4.7	Symbol graficzny węzła równoległości . . . . .	53
4.8	Symbol graficzny węzła alternatywy . . . . .	53
4.9	Przykład fragmentu schematu procedury z węzłem alternatywy . . . . .	54
4.10	Symbol graficzny węzła koniunkcji . . . . .	54
4.11	Przykład fragmentu schematu procedury z węzłem koniunkcji . . . . .	54
4.12	Symbol graficzny węzła wyboru . . . . .	55
4.13	Pozyskiwanie procedur diagnostycznych: stadium I i II . . . . .	56
4.14	Pozyskiwanie reguł empirycznych — stadium I . . . . .	61
4.15	Pozyskiwanie reguł — stadium II . . . . .	63
4.16	Wykres wartości stopni przekonania o słuszności reguły . . . . .	70
5.1	PDWP — okno główne . . . . .	74
5.2	Okno dialogowe do wprowadzania nazwy procedury . . . . .	74
5.3	Okno dialogowe do wprowadzania danych osobowych użytkownika-specjalisty . . . . .	75
5.4	Menu programu <i>PDWP</i> . . . . .	75
5.5	Okno dialogowe do tworzenia podprocedur. . . . .	75
5.6	Schemat połączeń systemowych . . . . .	77
5.7	<i>EMPREG 2</i> — okno główne z widocznymi składnikami przykładowej reguły . . . . .	78
5.8	Okno dialogowe do wprowadzania stopni przekonania o słuszności reguł (widoczny przycisk do akceptacji zmian wcześniejszej oceny) . . . . .	80
5.9	Okno dialogowe do wprowadzania lub wyboru danych personalnych użytkownika . . . . .	80
5.10	Okno dialogowe do definiowania nowej listy elementów dziedziny, w czasie formułowania reguły . . . . .	81
6.1	Rozpoznanie przyczyny utrudnionej zmiany biegów w samochodzie FSO 1500 . . . . .	92
6.2	Poszukiwanie przyczyn niepełnego wyłączenia sprzęgła . . . . .	93

6.3	Kontrola stanu tarczy sprzęgłowej . . . . .	93
6.4	Kontrola stanu elementów składowych układu hydraulicznego . . . . .	94
A.1	Wydzielony fragment schematu logicznego bazy wiedzy i danych <i>EMPREL-PDWP</i> , służący do zapisu procedur . . . . .	115
A.2	Formularz do formułowania zadania . . . . .	120
A.3	Formularz do tworzenia procedury z elementów składowych . . . . .	121
B.1	Okno dialogowe do wprowadzania danych personalnych użytkownika-specjalisty . . . . .	124
B.2	Okno dialogowe do formułowania <i>Startu</i> procedury . . . . .	124
B.3	Okno dialogowe do formułowania <i>Zadania</i> procedury . . . . .	125
B.4	Okno programu z widocznym rozwiniętym menu kontekstowym . . . . .	125
B.5	Okno dialogowe do wprowadzania nazwy nowej podprocedury (widoczna nazwa zadania uszczegółowionego do podprocedury) . . . . .	126
B.6	Okno dialogowe do formułowania <i>Stopu</i> procedury . . . . .	126
B.7	Okno dialogowe służące do zmiany aktualnej warstwy, zawierającej procedurę . . . . .	126
C.1	Okno dialogowe do wprowadzania danych osobowych specjalisty (widoczna rozwinięta lista do wyboru wpisanych już wcześniej danych osobowych w celu wznowienia pracy z programem) . . . . .	128
C.2	Okno dialogowe do formułowania dziedziny oraz konkluzji reguły . . . . .	128
C.3	Okno dialogowe do formułowania nowej dziedziny reguły . . . . .	129
C.4	Okno dialogowe, na którym widoczny jest sposób wprowadzania danych określających nowy atrybut . . . . .	130
C.5	Okno dialogowe do formułowania nowej przesłanki reguły . . . . .	131
C.6	Wybór stopnia przekonania dla oceny reguły . . . . .	132

# Spis tabel

4.1	Przedziały zmienności wartości stopni przekonania o słuszności reguły . . . . .	62
4.2	Otrzymana ocena reguły za pomocą <i>operatora agregacji ocen specjalistów</i> w przypadku wystąpienia wyłącznie ocen <i>Całkowicie się zgadzam</i> ” . . . . .	66
4.3	Otrzymana ocena reguły za pomocą <i>operatora agregacji ocen specjalistów</i> w przypadku wystąpienia wyłącznie ocen <i>Żupełnie się nie zgadzam</i> ” . . . . .	66
4.4	Otrzymana ocena reguły za pomocą <i>operatora agregacji ocen specjalistów</i> w przypadku dużej przewagi ocen pozytywnych . . . . .	67
4.5	Otrzymana ocena reguły za pomocą <i>operatora agregacji ocen specjalistów</i> w przypadku niewielkiej przewagi ocen pozytywnych . . . . .	67
4.6	Otrzymana ocena reguły za pomocą <i>operatora agregacji ocen specjalistów</i> w przypadku przewagi ocen negatywnych . . . . .	68
4.7	Otrzymana ocena reguły za pomocą <i>operatora agregacji ocen specjalistów</i> w przypadku braku zdecydowania specjalisty . . . . .	68
6.1	Ilościowe oceny reguł . . . . .	102
6.2	Jakościowe oceny reguł . . . . .	103
A.1	Procedura . . . . .	112
A.2	Zbiór warstw . . . . .	113
A.3	Warstwa . . . . .	113
A.4	Połączenia . . . . .	114
A.5	Poprzedniki . . . . .	116
A.6	Następniki . . . . .	116
A.7	Zadania . . . . .	117
A.8	Węzły . . . . .	117
A.9	Start . . . . .	118
A.10	Stop . . . . .	118
A.11	Osoby . . . . .	119
A.12	Adresy Osób . . . . .	119

# Indeks

- algorytm formułowania reguły, 60
- atrybut, 60
- baza wiedzy, 24, 56, 69
- bierna obserwacja pracy specjalisty, 26
- diagnostyka maszyn, 29
- drzewa decyzyjne, 45
- drzewa hierarchii, 26
- dziedzina reguły, 60
- formularz elektroniczny *EMPREL*, 76
- hipertekst, 45
- inżynier wiedzy, 25, 34, 41
- indukcja niezupełna, 38
- intuicja, 38
- kompleks, 59
- konkluzja, 59
- konstruktor systemu doradczego, 35
- metoda, 19, 47, 57
- niewspółosiowość wałów, 39
- obserwacja, 38
- operator agregacji, 64
- pośredni sposób pozyskiwania wiedzy, 34
- procedura, 49, 50
- procedura diagnostyczna, 48
- proces pozyskiwania wiedzy, 31
- rama, 45
- reguła, 57–60
- reguła empiryczna, 78
- reguła empiryczna, 77
- reguły działania, 45
- reguły wnioskowania, 45
- reprezentacja deklaratywna, 44
- reprezentacja proceduralna, 44
- reprezentacja reguł empirycznych, 57
- reprezentacja wiedzy, 43
- schematy blokowe, 45
- selektor, 59
- sieci neuronalne, 45
- sieci stwierdzeń, 45
- specjalista, 25, 36, 79
- sposób bezpośredni pozyskiwania wiedzy, 34
- stopień przekonania o słuszności reguły, 62
- stwierdzenia, 45
- systemy doradcze, 14
- tablice decyzyjne reguł, 45
- term elementarny, 59
- węzły sterujące, 52
- węzeł alternatywy, 53
- węzeł koniunkcji, 53
- węzeł równoległości, 52
- węzeł wyboru, 53
- warstwa, 50
- wiedza, 14
- wielowarstwowe schematy blokowe, 49
- wnioskowanie, 38
- wnioskowanie dedukcyjne, 39
- wnioskowanie indukcyjne, 38
- wnioskowanie redukcyjne, 39
- wywiad ustny, 25