

Politechnika Śląska
Wydział Mechaniczny Technologiczny
Katedra Podstaw Konstrukcji Maszyn

Piotr Maniak

**Badanie przydatności
metod indukcyjnych
do pozyskiwania
wiedzy projektowej**

Gliwice 2000

Recenzenci

Prof. dr hab. inż. Jerzy Pokojski
Prof. dr hab. inż. Ryszard Knosala

Redaktor zeszytów

Wojciech Cholewa

Redaktor językowy

Ewa Opoka

Redaktor techniczny

Marek Wyleżoł

Projekt okładki

Wojciech Cholewa, Marek Wyleżoł

ISBN 83-906533-4-6

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://kpkmt.polsl.gliwice.pl>

Druk i oprawa (z dostarczonych materiałów)

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

Od autora

Zeszyt opracowałem na podstawie mojej pracy doktorskiej, napisanej pod kierunkiem dr. hab. Wojciecha Moczulskiego, którą obroniłem 17 listopada 1999 roku przed Komisją powołaną przez Radę Wydziału Mechanicznego Technologicznego. W opracowaniu zostały uwzględnione uwagi recenzentów pracy doktorskiej: prof.dr. hab. inż. Jerzego Pokojskiego i prof. dr. hab. inż. Ryszarda Knosali.

Za wszystkie cenne uwagi serdecznie dziękuję. Ich uwzględnienie pozwoliło na wydanie tego zeszytu w postaci pozbawionej błędów.

Powstanie tej pracy nie byłoby możliwe bez pomocy i współudziału wielu osób. Dlatego też chciałbym im wyrazić moją wdzięczność. Chcę gorąco podziękować dr. hab. Wojciechowi Moczulskiemu, dr. inż. Wojciechowi Skarce, prof. Ryszardowi S. Michalskiemu, Panom - Aleksandrowi Øhrnowi, Janowi Komorowskiemu, Andrzejowi Skowronowi, Piotrowi Synakowi, dyr. inż. Janowi Kwijasowi, mgr. inż. Markowi Czernkowi, a także mgr. inż. Aleksandrowi Szelochowi oraz Koleżankom i Kolegom z Katedry Podstaw Konstrukcji Maszyn za okazaną mi pomoc i życzliwość podczas wykonywania pracy.

Gliwice, marzec 2000

Piotr MANIAK

Mojej Żonie Agnieszce

SPIS TREŚCI

WYKAZ WAŻNIEJSZYCH OZNACZEŃ.....	IX
1. WSTĘP	1
1.1 CEL ROZPRAWY	4
1.2 TEZY	4
1.3 ZAKRES ROZPRAWY	4
2. PRZEDMIOT BADAŃ	7
2.1 PROJEKTOWANIE I OBIEKT PROJEKTOWANIA	7
2.1.1 <i>Informacje wejściowe etapu projektowania</i>	7
2.1.2 <i>Cechy konstrukcyjne</i>	8
2.1.3 <i>Ilościowe i jakościowe wartości cech</i>	9
2.1.4 <i>Rozwiązanie projektowe</i>	11
2.1.5 <i>System informacyjny</i>	11
2.1.6 <i>Zbiór przykładów i jego reprezentacja</i>	12
2.2 RODZAJE PROCESÓW PROJEKTOWYCH.....	14
2.2.1 <i>Projektowanie twórcze</i>	15
2.2.2 <i>Projektowanie innowacyjne</i>	16
2.2.3 <i>Projektowanie rutynowe</i>	16
2.3 ŚRODKI WSPOMAGANIA PROJEKTOWANIA	17
2.3.1 <i>Programy oparte na algorytmach</i>	18
2.3.2 <i>Tablice decyzyjne</i>	19
2.3.3 <i>Systemy doradcze</i>	20
2.4 PRZYKŁADY SYSTEMÓW WSPOMAGAJĄCYCH ROZWIĄZYWANIE ZADAŃ RUTYNOWYCH.....	21
2.4.1 <i>System COMIX</i>	21
2.4.2 <i>System doradczy dla potrzeb technicznego przygotowania produkcji</i>	22
2.4.3 <i>System do wspomaganie konstruowania stalowych kratownic wysokich budynków</i>	23
2.5 DANE I WIEDZA W PROJEKTOWANIU	23
2.6 ŚRODKI REPREZENTACJI DANYCH I WIEDZY W SYSTEMACH DORADCZYCH WSPOMAGAJĄCYCH PROCES PROJEKTOWANIA.....	25
2.6.1 <i>Opis dziedziny zastosowania</i>	26
2.6.2 <i>Reprezentacja danych i wiedzy</i>	27
2.7 PROCES POZYSKIWANIA WIEDZY PROJEKTOWEJ.....	29
2.7.1 <i>Źródła wiedzy projektowej</i>	30
2.7.2 <i>Pozyskiwanie wiedzy z dokumentacji projektowej metodami „uczenia maszynowego”</i>	31
2.7.3 <i>Pozyskiwanie wiedzy projektowej od specjalisty-projektanta</i>	32

2.8	PROBLEM BADAWCZY.....	33
2.9	PODSUMOWANIE DOTYCZĄCE PRZEDMIOTU BADAŃ	36
3.	METODY POZYSKIWANIA WIEDZY PROJEKTOWEJ.....	37
3.1	POZYSKIWANIE WIEDZY W SPOSÓB INDUKCYJNY NA PODSTAWIE PRZYKŁADÓW	37
3.1.1	<i>Źródła przykładów do indukcji reguł.....</i>	<i>38</i>
3.1.2	<i>Zbiór przykładów</i>	<i>38</i>
3.1.3	<i>Metody pozyskiwania wiedzy poprzez indukcję</i>	<i>39</i>
3.1.4	<i>Stosowanie pozyskanej wiedzy do klasyfikowania nowych przykładów.....</i>	<i>42</i>
3.2	POZYSKIWANIE WIEDZY OD SPECJALISTÓW	43
3.3	PODSUMOWANIE DOTYCZĄCE METOD POZYSKIWANIA WIEDZY PROJEKTOWEJ	44
4.	METODY OCENY WIEDZY POZYSKANEJ ORAZ STOSOWANYCH ALGORYTMÓW.....	45
4.1	SFORMALIZOWANE SPOSOBY OCENY ZAWARTOŚCI BAZY WIEDZY	45
4.1.1	<i>Kryteria oceny merytorycznej poprawności bazy wiedzy.....</i>	<i>45</i>
4.1.2	<i>Dodatkowe kryteria oceny poprawności bazy wiedzy.....</i>	<i>46</i>
4.1.3	<i>Podstawowe techniki oceny błędu klasyfikacji</i>	<i>49</i>
4.1.4	<i>Ocena merytoryczna za pomocą zbioru przykładów.....</i>	<i>51</i>
4.2	SPOSOBY PORÓWNYWANIA ALGORYTMÓW	51
4.2.1	<i>Kryteria oceny przydatności algorytmów indukcyjnych</i>	<i>51</i>
4.2.2	<i>Początkowy system informacyjny.....</i>	<i>52</i>
4.2.3	<i>Test kolejności atrybutów</i>	<i>53</i>
4.2.4	<i>Test kolejności przykładów</i>	<i>54</i>
4.3	PODSUMOWANIE DOTYCZĄCE METOD OCENY WIEDZY POZYSKANEJ ORAZ STOSOWANYCH ALGORYTMÓW	54
5.	ŚRODKI WSPOMAGANIA PROCESU POZYSKIWANIA WIEDZY PROJEKTOWEJ	55
5.1	POZYSKIWANIE WIEDZY W SPOSÓB INDUKCYJNY	55
5.1.1	<i>Wybór atrybutów relewantnych</i>	<i>55</i>
5.1.2	<i>Selektywna indukcja reguł</i>	<i>55</i>
5.1.3	<i>Indukcja reguł z zastosowaniem zbiorów przybliżonych.....</i>	<i>55</i>
5.1.4	<i>Indukcja drzew decyzyjnych oraz generowanie reguł na podstawie drzew decyzyjnych</i>	<i>56</i>
5.1.5	<i>Ocena merytorycznej poprawności bazy wiedzy.....</i>	<i>57</i>
5.1.6	<i>Oprogramowanie do wspomaganie weryfikacji wiedzy pozyskanej</i>	<i>57</i>
5.2	POZYSKIWANIE WIEDZY OD SPECJALISTÓW	58
5.2.1	<i>Formularz „papierowy” do pozyskiwania nowej wiedzy</i>	<i>59</i>
5.2.2	<i>Ankieta do oceny wiedzy już pozyskanej</i>	<i>59</i>
5.2.3	<i>Oprogramowanie do wspomaganie pozyskiwania wiedzy od specjalistów</i>	<i>61</i>

5.3 PODSUMOWANIE DOTYCZĄCE ŚRODKÓW WSPOMAGANIA POZYSKIWANIA WIEDZY PROJEKTOWEJ	62
6. BADANIA PORÓWNAWCZE METOD POZYSKIWANIA WIEDZY	63
6.1 WYBÓR ZADANIA PROJEKTOWO-KONSTRUKCYJNEGO DO BADAŃ PORÓWNAWCZYCH.....	63
6.2 PROGRAM BADAŃ.....	63
6.3 PLAN BADAŃ	64
6.4 OPIS ZADANIA PROJEKTOWO-KONSTRUKCYJNEGO I PODZADAŃ	65
6.4.1 Wybór układu łożyskowania.....	66
6.4.2 Dobór rodzaju łożyska tocznego.....	67
6.4.3 Dobór sposobu ustalenia łożysk w kierunku osiowym	67
6.4.4 Dobór rodzaju uszczelnień wału	67
6.5 SPOSÓB PRZYGOTOWANIA ZBIORÓW PRZYKŁADÓW	68
6.5.1 Źródła przykładów	68
6.5.2 Wybór wartości cech decyzyjnych.....	70
6.5.3 Wybór atrybutów.....	82
6.5.4 Kwantowanie i kodowanie wartości cech	85
6.5.5 Reprezentacja przykładów	89
6.6 WYNIKI BADAŃ	91
6.6.1 Wyniki klasyfikacji z zastosowaniem metod indukcyjnych	91
6.6.2 Dyskusja uzyskanych wyników.....	102
6.6.3 Wyniki oceny zbiorów reguł przez specjalistów-projektantów.....	107
7. ZASTOSOWANIA POZYSKANEJ WIEDZY PROJEKTOWEJ DO WSPOMAGANIA PROJEKTOWANIA RUTYNOWEGO	109
7.1 ZAŁOŻENIA DO SYSTEMU DORADCZEGO ROLLEX	109
7.2 OGÓLNY OPIS SYSTEMU	109
7.3 PRZYKŁAD DIALOGU Z UŻYTKOWNIKIEM	110
7.4 PERSPEKTYWY ZASTOSOWANIA SYSTEMU.....	111
8. PODSUMOWANIE I WNIOSKI.....	113
DODATEK A.....	117
SELEKTYWNA INDUKCJA REGUŁ POPRZEZ GENEROWANIE POKRYĆ	117
A.1 Algorytm indukcji reguł.....	117
A.2 Klasyfikowanie nowych przykładów.....	118
A.3 Przykład klasyfikowania nowych przykładów.....	119
DODATEK B	121
INDUKCJA REGUŁ Z ZASTOSOWANIEM ZBIORÓW PRZYBLIŻONYCH	121
B.1 Relacja nierozróżnialności	121

<i>B.2 Zbiory przybliżone</i>	121
<i>B.3 Klasyfikacja przybliżona</i>	122
<i>B.4 Redukcja liczby atrybutów</i>	123
<i>B.5 Klasyfikowanie nowych przykładów</i>	124
<i>B.6 Przykład klasyfikowania nowych przykładów</i>	125
DODATEK C	127
INDUKCJA DRZEW DECYZYJNYCH.....	127
<i>C.1 Rekurencyjny algorytm budowy drzewa decyzyjnego</i>	127
<i>C.2 Sposoby wyboru atrybutów</i>	127
<i>C.3 Brakujące wartości atrybutów w przykładach uczących</i>	128
<i>C.4 Generowanie reguł na podstawie drzew decyzyjnych</i>	129
<i>C.5 Klasyfikowanie nowych przykładów</i>	129
<i>C.6 Przykład klasyfikowania nowych przykładów</i>	130
DODATEK D	131
SPOSÓB WYBORU PODZBIORU ATRYBUTÓW RELEWANTNYCH.....	131
SPIS LITERATURY	132
STRESZCZENIE	143
SUMMARY	144
ZAŁĄCZNIKI	145
ZAŁĄCZNIK A - DOBÓR UKŁADU ŁOŻYSKOWANIA	147
ZAŁĄCZNIK B - DOBÓR RODZAJU ŁOŻYSKA TOCZNEGO	153
ZAŁĄCZNIK C - DOBÓR SPOSOBU USTALENIA ŁOŻYSKA W KIERUNKU OSIOWYM	173
ZAŁĄCZNIK D - DOBÓR USZCZELNIEŃ	186

WYKAZ WAŻNIEJSZYCH OZNACZEŃ

A	skończony zbiór atrybutów
$ A $	liczba atrybutów
$a_1, a_2, \dots, a_{ A }$	poszczególne atrybuty
$ a^{(r_i)} $	liczba przesłanek w regule i -tej
$ a^{+(r_i)} $	liczba warunków elementarnych przesłanki reguły spełnionych przez odpowiednie wartości cech przykładu
C	cecha konstrukcyjna
E	zbiór przykładów uczących
E_i	zbiór przykładów uczących przypisanych do i -tego rozwiązania projektowego
$ E $	liczba przykładów w zbiorze przykładów uczących
$ E_i $	liczba przykładów pozytywnych przypisanych do i -tego rozwiązania projektowego
$ E(r_i) $	liczba przykładów użytych do wygenerowania reguły i -tej
$ E^+(r_i) $	liczba przykładów poprawnie sklasyfikowanych przez i -tą regułę
$ E^{(-)} $	liczba błędnie sklasyfikowanych przykładów testowych
$ E^{(0)} $	liczba przykładów testowych
$ E_i^{(-)} $	liczba przykładów pozytywnych przypisanych do rozwiązania projektowego i -tego a sklasyfikowanych do innego rozwiązania projektowego
$ E_{j,i}^{(-)} $	liczba przykładów negatywnych przypisanych do j -tego rozwiązania projektowego a sklasyfikowanych do i -tego rozwiązania projektowego
$I(E)$	informacja zawarta w zbiorze przykładów E
$I(E, a)$	oczekiwana wartość ilości informacji po podziale zbioru przykładów E na podzbiory, w których atrybut a posiada tę samą wartość
$I(E a)$	współczynnik przyrostu informacji po podziale zbioru przykładów E na podzbiory, w których atrybut a posiada tę samą wartość
$MF(r)$	miara stopnia dopasowania przesłanki i -tej reguły do przykładu
$MR(r)$	moc i -tej reguły
$PP(x_i)$	poparcie pojęcia (rozwiązania projektowego) x_i - w przypadku jeśli wartości przykładu spełniają przesłanki reguły
$PP^{\sim}(x_i)$	poparcie pojęcia (rozwiązania projektowego) x_i - w przypadku jeśli wartości przykładu nie spełniają przesłanki reguły
$ R $	liczba wyindukowanych reguł na podstawie przykładów uczących
S	system informacyjny
$SR(r)$	specyficzność i -tej reguły

$(\underline{S}Y), (\overline{S}Y)$	dolne i górne przybliżenie jako największy zbiór opisywalny w S zawarty w $Y \subseteq X$
$\underline{S}\chi, \overline{S}\chi$	dolne i górne przybliżenie rodziny rozwiązań projektowych χ
T	wartość stwierdzenia; ocena stopnia prawdziwości stwierdzenia
W	układ wymiarów
V	zbiór wartości cechy
V_a	dziedzina cechy a
$v_1, v_2, \dots, v_{ V_a }$	poszczególne wartości cechy a
$ V^{(r_i)} $	liczba wartości cech w części przesłankowej i -tej reguły
$ V^{(e_j)} $	liczba wartości wszystkich cech w j -tym przykładzie
X	skończony zbiór rozwiązań projektowych
$ X $	liczba rozwiązań projektowych
$x_1, x_2, \dots, x_{ X }$	poszczególne rozwiązania projektowe
Z	oznaczenie (znak) postaci konstrukcyjnej
α	średnie pokrycie
$\underline{\beta}C(X), \overline{\beta}C(X)$	współczynniki dokładności dolnego i górnego przybliżenia rodziny rozwiązań projektowych χ
$\beta C(X)$	dokładność klasyfikacji
$\gamma C(X)$	jakość klasyfikacji
$\Delta I(E, a)$	maksymalny przyrost informacji po podziale zbioru przykładów E na podzbiory, w których atrybut a posiada tę samą wartość
δ	stopień kompresji wiedzy
$\delta I(E, a)$	względny przyrost informacji
ε_{ov}	łączny błąd względny
ε_{om}	względny błąd pominięcia
ε_{co}	względny błąd niestusznego zaliczenia
θ	stopień nadmiarowości pokryć
κ	stopień uogólnienia wiedzy
λ	złożoność reguły
$\underline{\mu}(Y), \overline{\mu}(Y)$	dokładność dolnego i górnego przybliżenia zbioru Y w systemie S
$\mu(Y)$	dokładność przybliżenia
ρ	funkcja informacyjna
χ	rodzina rozwiązań projektowych

1. WSTĘP

Rozwój urządzeń komputerowych w skali, w jakiej to można obserwować w ostatnich latach, powoduje, że coraz trudniej wskazać dziedzinę gospodarki, techniki, nauki czy życia społecznego właściwie rozwijającą się bez komputerów. Coraz częstsze zastosowania komputerów powodują gwałtowne zmiany w komunikacji, medycynie, łączności, kształceniu i przemyśle zbrojeniowym. Komputer jako narzędzie przyspieszające i ułatwiające pracę znajduje także szerokie zastosowanie w procesie projektowania i konstruowania maszyn.

Jednocześnie z rozwojem sprzętu komputerowego opracowuje się coraz to doskonalsze oprogramowanie oraz zintegrowane systemy wspomagające prace inżynierów określane zwykle angielską nazwą *CAD - Computer-Aided Design*. Praktycznie wszystkie czynności realizowane przez projektanta można wspomagać komputerowo. Spośród tych czynności wymienić można m.in.:

- obliczenia inżynierskie (w tym np. obliczenia z zastosowaniem metody elementów skończonych i brzegowych),
- przeszukiwanie baz danych zawierających informacje o dotychczasowych rozwiązaniach projektowych, opisy metod (zalecenia projektowe), zbiory norm, przepisów, patentów,
- symulacje komputerowe,
- modelowanie i optymalizację.

Czynności te są wspomagane komputerowo i są realizowane przez moduły programowe w systemach *CAD* [Tarnowski, 1998].

Możliwości zastosowania odpowiednich środków komputerowych w procesie projektowania są różne w zależności od rodzaju projektowanego wytworu i od etapu samego projektowania. Większe możliwości wspomagania można zauważyć m.in. w końcowej fazie projektowania i konstruowania, np. przy doborze typowych znormalizowanych elementów maszyn. W przypadku projektowania innowacyjnego lub szczególnie w przypadku projektowania twórczego, udział środków komputerowych jest zdecydowanie mniejszy, gdyż wiąże się to z trudnością wspomagania takich działań.

Mimo iż środki i techniki komputerowe są obecnie bardzo mocno rozwinięte, nie jest możliwe całkowite zastąpienie człowieka w jego czynnościach intelektualnych. Czynione są pomyślnie próby zastosowania takich wyspecjalizowanych *systemów doradczych*, które wspomagają wykonywanie zadań, szczególnie o charakterze rutynowym. Ten rodzaj projektowania jest najczęściej wspomagany ze względu na dobrze znane kroki, jakie należy wykonać podczas tego projektowania.

Badania literaturowe w zakresie komputerowego wspomagania projektowania poczynione przez autora rozprawy na podstawie dostępnych mu publikacji dowodzą

szerokiego zainteresowania projektantów wspomaganie ich działań poprzez zastosowanie komputerowego oprogramowania.

Szczególnie łatwa jest realizacja wspomaganie komputerowego obliczeń opartych na algorytmach. Wiele ośrodków naukowych w kraju i na świecie opracowało własne oprogramowanie lub użytkuje programy komercyjne dostosowane do własnych potrzeb. Zastosowane oprogramowanie wspomaga m.in. projektowanie wałów, osi i wrzecion obrabiarek ([Heilmann, 1991], [Kolka, Klarecki, Śliwka, Kosmol, 1994], [Osiński, 1994]), łożysk ślizgowych oraz tocznych ([Porębski, 1991], [Osiński, 1994], [Sileikis, 1998]), przekładni zębatych walcowych oraz stożkowych ([Krawiec, 1991], [Kurmaz, 1991], [Kurmaz, 1991a], [Wilk, Niedziela, Łazarz, 1991], [Dudek, Skrzyszkowski, 1993]), przekładni zębatych planetarnych [Osiński, Mischuk, 1996], przekładni cięgnowych ([Kaczan, 1991], [Porębska, Nawalany, 1991]), korpusów obrabiarek [Śliwka, Kosmol, Klarecki, 1995], a także silników spalinowych [Wajand, Jędraszczyk, Parczewski, Wajand, Walter, 1990]. Oprogramowanie to oparte jest na algorytmach i nie wspomaga projektanta w podejmowaniu decyzji.

Obecnie coraz większą rolę we wspomaganie prac inżynierskich odgrywają systemy doradcze, stosowane w różnych dziedzinach. Odpowiednie środki wspomagające zastosować można do projektowania urządzeń pneumatycznych oraz hydraulicznych ([Tong, Sriram, 1992], [Paszek, Knosala, 1995], [Silva, Dawson, 1997]), oprzyrządowania przedmiotowego [Samek, Kwatera, 1997], układów transportu [Tong, Sriram, 1992], maszyn i urządzeń wytwórczych oraz maszyn stosowanych w przemyśle spożywczym i farmaceutycznym ([Brinkop, Laudwein, Maassen, 1994], [Iżykowski, 1995]), hal produkcyjnych, wiaduktów oraz systemów centralnego ogrzewania ([Andrade, Bento, Virtuoso, 1997], [Borkowski, 1997], [Andrade, Bento, 1998], [Cichocki, Gil, Pokojski, 1997], [Pokojski, Gil, Cichocki, 1999]) oraz przekładni zębatych ([Milcic, Andjelkovic, 1999], [Miltenovic, Milcic, Stamenkovic, 1999]). Wiele systemów wspomaga dobór postaci konstrukcyjnej, liczby i rozkładu żeber wzmacniających [Ohmachi, Inoue, Kato, 1997], obrabiarek dla wykonania zadania produkcyjnego [Ćwikła, Knosala, 1997] oraz dobór optymalnego harmonogramowania produkcji w gnieździe wytwórczym [Kampa, Knosala, 1995]. W pracy [Dukarski, Józefowicz, Kustoń, Rogala, 1991] opisano system wspomagający wykonywanie ogólnych zadań rutynowych, natomiast system przedstawiony w [Wyczółkowski, 1997] umożliwia wybór algorytmu w obliczeniach inżynierskich.

W przypadku zastosowania systemów doradczych konieczne jest zbudowanie odpowiednich baz wiedzy. Pozyskiwanie wiedzy dla takich baz jest bardzo trudnym i odpowiedzialnym zadaniem. Obecnie prowadzonych jest wiele prac dotyczących metod pozyskiwania wiedzy projektowej oraz jej weryfikacji. Do tych prac należą m.in.: prace związane z pozyskiwaniem wiedzy od specjalistów ([Heinisou, 1997], [Pokojski, Ostapski, 1997]), prace związane z pozyskiwaniem wiedzy metodami „uczenia maszynowego” ([Arciszewski, Dybala, Wnek, 1992], [Chmielewski, Grzymała-Busse, 1992], [Wnek, 1993], [Arciszewski, 1994], [Grzymała-Busse, 1994], [Dybala, Tecuci, 1995], [Szczepanik,

Arciszewski, Wnek, 1995], [Bento, Dias, Pina, 1996], [Michalski, Bratko, Kubat, 1997]) oraz prace związane ze sposobami gromadzenia i przechowywania planów procesów projektowych i dokumentacji projektowo-konstrukcyjnej ([Pokojski, 1996], [Pokojski, Ostapski, Gawart, 1996]), a także dokumentacji projektowo-technicznej [Pokojski, Wróbel, 1995], technologicznej [Paszek, Knosala, 1997], techniczno-ruchowej ([Skarka, 1997], [Psiuk, Skarka, 1999]).

W Katedrze Podstaw Konstrukcji Maszyn Politechniki Śląskiej od dłuższego czasu prowadzone są badania nad zastosowaniem indukcyjnych metod „uczenia maszynowego” do pozyskiwania wiedzy projektowej i diagnostycznej. Prace związane z pozyskiwaniem wiedzy w celu wspomagania działań inżynierów zapoczątkował W. Moczulski. Pod jego kierunkiem powstały jedne z pierwszych prac dotyczących pozyskiwania wiedzy projektowej [Maniak, 1995] oraz wiedzy technologicznej [Puzoń, 1995]. W kolejnych latach badania były rozszerzane, czego efektem były kolejne prace w dziedzinie pozyskiwania wiedzy (także diagnostycznej) metodami „uczenia maszynowego” ([Maniak, 1995a], [Wyleżoń, 1996], [Maniak, 1996], [Ciupke, 1997], [Maniak, 1997], [Moczulski, 1997], [Moczulski, 1997a], [Moczulski, 1997b], [Moczulski *et al.*, 1997], [Wyleżoń, 1997], [Maniak, 1998]) oraz wiele raportów wewnętrznych Katedry Podstaw Konstrukcji Maszyn, w których szczegółowo opisano przeprowadzone badania. Rozwój badań obejmował uwzględnienie takich zadań projektowych, jak np.: dobór sprzęgieł, zastosowanie metod pozyskiwania wiedzy w diagnostyce maszyn do klasyfikacji uszkodzeń łożysk tocznych, a także do klasyfikacji rodzajów niewyrównoważenia wirników. Źródłami przykładów oraz danych do pozyskiwania wiedzy byli głównie specjaliści, wyniki eksperymentów czynnych oraz biernych, wyniki symulacji komputerowych, dokumentacja projektowo-konstrukcyjna oraz fachowa literatura.

Na podstawie dostępnych publikacji wyciągnięto następujące krytyczne wnioski:

- 1) Stwierdzono niedużą liczbę wyspecjalizowanych programów wspomagających prace projektantów/konstruktorów w zakresie wykonywania prac rutynowych,
- 2) W przypadku programów wspomagających wykonywanie niezbędnych obliczeń w ramach weryfikacji łożysk tocznych ograniczono się jedynie do przeszukiwania baz danych - elektronicznych katalogów łożysk tocznych - w celu wybrania łożyska spełniającego zadane kryteria; nie uwzględniono w tych programach innych niezbędnych elementów łożyskowania, jak elementy ustalające łożyska i rodzaje uszczelnień,
- 3) Obecne środki programowe ograniczają się w większości do zastosowania algorytmów znacznie przyspieszających wykonywanie niezbędnych obliczeń, jednak programy te nie ułatwiają projektantowi/konstruktorowi podejmowania decyzji co do wyboru możliwych rozwiązań projektowych,
- 4) Istniejące systemy doradcze posiadają bazy wiedzy, których zawartość w większości została pozyskana w sposób „tradycyjny”. Zwrot „tradycyjny sposób pozyskiwania wiedzy” oznacza pozyskanie wiedzy od specjalisty za pomocą

ustnego wywiadu, „papierowego” formularza, w których specjalista formułuje określone reguły itp.,

- 5) „Tradycyjne” techniki pozyskiwania wiedzy są nieefektywne, a weryfikacja wiedzy przez specjalistów jest kłopotliwa i czasochłonna.

Badania literaturowe, jakie przeprowadził autor, utwierdziły go w przekonaniu, że celowe jest kontynuowanie badań nad zastosowaniami indukcyjnych metod „uczenia maszynowego” w dziedzinie projektowania węzłów łożyskowych. Zidentyfikowano kilka metod „uczenia maszynowego” stosowanych do pozyskiwania wiedzy. W tej sytuacji zaistniała potrzeba przeprowadzenia badań porównawczych zidentyfikowanych metod w celu określenia ich przydatności do pozyskiwania wiedzy projektowej. Stąd też niniejsza rozprawa jest próbą szczegółowego opisu przeprowadzonych przez autora badań porównawczych wybranych metod indukcyjnych.

1.1 Cel rozprawy

Celem rozprawy jest zbadanie przydatności indukcyjnych metod „uczenia maszynowego” do pozyskiwania wiedzy projektowej oraz porównanie efektywności różnych metod indukcyjnych „uczenia maszynowego” dla potrzeb pozyskiwania takiej wiedzy.

1.2 Tezy

- A. Metody indukcyjne są przydatne do pozyskiwania wiedzy projektowej umożliwiającej wspomaganie rozwiązywania zadań o charakterze rutynowym.
- B. Wiedza projektowa może być pozyskana na podstawie przykładów, których źródłami mogą być: publikacje, dokumentacja projektowo-konstrukcyjna oraz specjaliści.

1.3 Zakres rozprawy

Podstawowa treść rozprawy zawarta jest w pięciu głównych rozdziałach (rozdziały 2, 3, 4, 5, 6). W rozdziale 6. opisano przebieg badań porównawczych metod pozyskiwania wiedzy oraz wyniki tych badań. Rozdział 7. zawiera przykład zastosowania pozyskanej wiedzy projektowej w systemie doradczym opracowanym przez autora według jego koncepcji oraz opis możliwości współpracy takiego systemu z programami wspomagającymi wykonywanie dokumentacji rysunkowej.

W rozdziale 2. przedstawiono aparat pojęciowy, którym autor posługiwał się w dalszej części pracy. Opisano informacje wejściowe niezbędne w procesie projektowo-konstrukcyjnym oraz cechy konstrukcyjne, system informacyjny i rozwiązanie projektowe. W celu formalizacji przedmiotu badań wyszczególniono trzy podstawowe rodzaje projektowania, jakimi są: projektowanie twórcze, projektowanie innowacyjne oraz

projektowanie rutynowe. Szczególną uwagę zwrócono na ten ostatni rodzaj projektowania ze względu na możliwość zastosowania wspomaganie komputerowego. Środkami takiego wspomaganie mogą być programy komputerowe oparte na algorytmach, tablice decyzyjne oraz wyspecjalizowane w danej dziedzinie systemy doradcze. W rozdziale opisano kilka z systemów doradczych, które w znaczny sposób odciążają projektantów/konstruktorów od rozwiązywania zadań rutynowych, pozwalając im na poświęcenie większej ilości czasu na rozwiązywanie zadań o charakterze innowacyjnym lub twórczym. W przypadku budowy systemu doradczego konieczne jest zidentyfikowanie dziedziny zastosowania, której będzie dotyczył proces wspomaganie komputerowego oraz zastosowanie odpowiedniego środka reprezentacji danych i wiedzy. W samym procesie pozyskiwania wiedzy projektowej konieczne jest zidentyfikowanie źródeł wiedzy, a także sposobów pozyskiwania tej wiedzy. W rozdziale opisano sposób pozyskiwania wiedzy z przykładów opracowanych na podstawie dokumentacji projektowo-konstrukcyjnej, publikacji oraz sposób pozyskiwania wiedzy od specjalistów z danej dziedziny zastosowania. Przedstawiony w tym rozdziale opis przedmiotu badań oraz problem badawczy umożliwił późniejszy wybór metod pozyskiwania wiedzy, a także stanowił podstawę do opracowania środków wspomagających przeprowadzenie badań porównawczych.

W rozdziale 3. omówiono metody pozyskiwania wiedzy zastosowane w pracy dla potrzeb wspomaganie projektowania maszyn. Dokonano podziału tych metod w zależności od źródeł wiedzy. Wyróżniono wiedzę pozyskaną na podstawie przykładów oraz od specjalisty lub specjalistów. W pierwszej grupie metod opisano indukcyjne metody pozyskiwania wiedzy na podstawie przykładów. W celu przeprowadzenia badań porównawczych indukcyjnych metod „uczenia maszynowego” wybrano trzy takie metody, które zostały omówione w dodatkach do pracy. Wybrane metody to: selektywna indukcja reguł za pomocą generowania pokryć, indukcja reguł z zastosowaniem zbiorów przybliżonych oraz indukcja reguł z drzew decyzyjnych. W drugiej grupie metod pozyskiwania wiedzy (od specjalisty) przedstawiono metodę pozyskiwania wiedzy za pomocą formularza „papierowego”.

Omówione w rozdziale 4. metody oceny wiedzy pozyskanej stanowiły podstawę do przeprowadzenia opisanych w pracy badań porównawczych. Omówiono sposoby porównywania wiedzy pozyskanej z zastosowaniem metod „uczenia maszynowego”, przy czym zidentyfikowano tutaj kryteria oceny klasyfikacji. Rozdział 4. zawiera także opis technik porównywania wybranych algorytmów stosowanych w indukcyjnych metodach „uczenia maszynowego” oraz sposób przygotowania zbiorów uczących do zaproponowanych przez autora testów mających zweryfikować wspomniane algorytmy.

Rozdział 5. zawiera opis opracowanych środków pozyskiwania wiedzy. Omówiono zastosowane w badaniach oprogramowanie do „uczenia maszynowego” z użyciem metod selektywnej indukcji poprzez generowanie pokryć, indukcji reguł z drzew decyzyjnych oraz indukcji reguł z zastosowaniem zbiorów przybliżonych. Przedstawiono także wybrane programy wspomagające weryfikowanie pozyskanej wiedzy. W drugiej grupie środków

wspomagających pozyskiwanie wiedzy opisano formularz „papierowy” do pozyskania nowej wiedzy, ankietę do oceny wiedzy pozyskanej oraz oprogramowanie wspomagające przygotowanie odpowiednich materiałów dla specjalisty oceniającego tę wiedzę.

Rozdział 6. obejmuje opis badań porównawczych metod pozyskiwania wiedzy. W rozdziale przedstawiono m.in.: wybór zadania projektowo-konstrukcyjnego do badań porównawczych, program i plan badań, opis wybranego zadania i podzadań projektowych. Wybrany przez autora zadaniem projektowym było projektowanie węzłów łożyskowych. Można w tym zadaniu wyróżnić podzadania takie, jak: wybór układu łożyskowania, dobór rodzaju łożyska tocznego, wybór sposobu ustalenia osiowego łożyska na wale lub osi oraz dobór rodzaju uszczelnień wału. W rozdziale wyjaśniono sposób przygotowywania zbiorów przykładów przy uwzględnieniu warunków decydujących o doborze szczegółowego rozwiązania projektowego. Przedstawiono m.in.: opis źródeł przykładów, sposób wyboru wartości cech decyzyjnych, wyboru atrybutów i reprezentacji przykładów, kwantowania i kodowania wartości cech oraz zastosowanych miar ocen. Rozdział zamyka dyskusja wyników uzyskanych w trakcie badań.

W rozdziale 7. opisano przykład zastosowania pozyskanej w trakcie badań wiedzy projektowej w zbudowanym przez autora systemie doradczym *RollEx*. System ten umożliwi wspomaganie prac projektanta w trakcie rozwiązywania zadania projektowania łożyskowania tocznego. Zaletą tego systemu jest możliwość jednoczesnego korzystania z kilku baz wiedzy, których zawartość została pozyskana różnymi metodami „uczenia maszynowego”. Dzięki temu system może być zastosowany do porównywania klasyfikacji nowych przykładów jak również (po wyborze jednej z baz) do bezpośredniego wspomagania projektowania.

Rozdział 8. zawiera wnioski na temat badań porównawczych indukcyjnych metod pozyskiwania wiedzy projektowej.

Dołączone na końcu rozprawy dodatki zawierają szczegółowe opisy zastosowanych metod indukcyjnych oraz sposobu wyboru podzbioru atrybutów relewantnych.

Załączniki do rozprawy doktorskiej przedstawiają przygotowane przez autora zbiory przykładów uczących, pozyskane metodami indukcyjnymi zbiory reguł, a także wyniki klasyfikacji przykładów testowych z zastosowaniem techniki *leave-one-out*.

2. PRZEDMIOT BADAŃ

Przedmiotem badań jest problematyka projektowania oraz wspomaganie projektowania, a w szczególności wspomaganie rozwiązywania zadań rutynowych. Sprecyzowana w taki sposób problematyka badań determinuje wybór metod i środków stosowanych do pozyskiwania wiedzy projektowej oraz umożliwia ich porównanie (rozdziały 3 ÷ 6).

2.1 Projektowanie i obiekt projektowania

Działania twórcze, związane z obmyśleniem środków technicznych zaspokajających zidentyfikowane potrzeby, stanowią elementy procesu projektowo-konstrukcyjnego. Istotą tego procesu jest dobór cech konstrukcyjnych. Opracowanie systemu technicznego (lub inaczej: dobieranie sposobu działania jakiegokolwiek układu) określa się jako projektowanie, a opracowanie konstrukcji jako konstruowanie. Obiektem konstruowania jest sztuczny układ materialny (konkret) wytworzony według danej konstrukcji [Dietrych, 1985]. Konstrukcja wyznacza zbiór cech konstrukcyjnych wspólnych dla wszystkich obiektów, wytworzonych zgodnie z tą konstrukcją.

Obiektem projektowania może być maszyna lub jej element.



Rys. 1. Model środka technicznego [Dietrych, 1985]

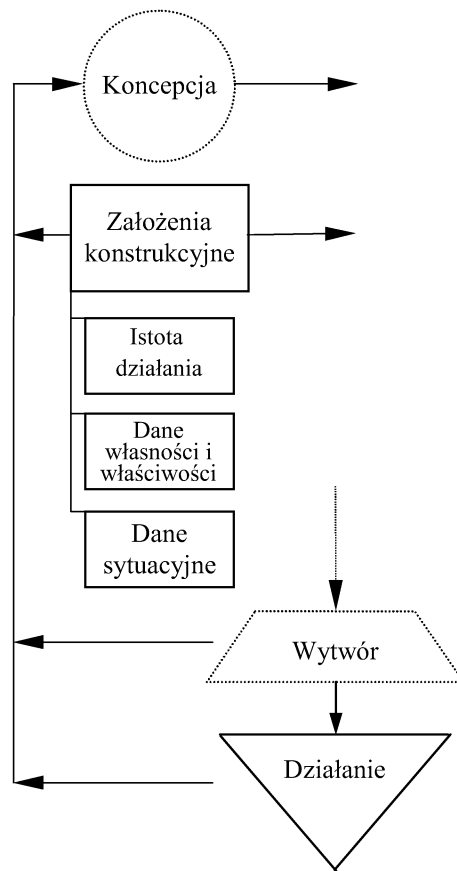
Konstrukcję należy rozpatrywać jako model środka technicznego. Posługując się modelem (Rys. 1), można w najogólniejszy sposób zidentyfikować wejścia, wyjścia i działanie środka technicznego. Działanie środka technicznego jako całości polega na przekształceniu wejść w wyjścia i jest uwarunkowane istnieniem postaci konstrukcyjnej [Dietrych, 1974].

2.1.1 Informacje wejściowe etapu projektowania

Informację wejściową etapu konstruowania stanowią założenia projektowe i opis koncepcji projektowej [Dietrych, 1968]. Na założenia projektowe składają się:

- opis istoty działania, które ma być wywołane przez użycie wytworu,
- dane liczbowe dotyczące parametrów wykazanych w opisie działania (Rys. 2),

- informacje uzyskane w wyniku analizy możliwości sytuacyjnych.



Rys. 2. Informacje wejściowe w procesie konstruowania [Dietrych, 1968]

2.1.2 Cechy konstrukcyjne

Konstruowanie wytworu polega na określaniu (doborze) cech konstrukcyjnych [Dietrych, 1985]. Identyfikacja cechy konstrukcyjnej polega na doborze postaci konstrukcyjnej oraz układu wymiarów. Cechę konstrukcyjną według J. Dietrycha określa się następująco:

$$C = (Z, W) \quad (1)$$

gdzie:

Z - oznaczenie (znak) postaci konstrukcyjnej,

W - układ wymiarów,

C - cecha konstrukcyjna.

Na potrzeby przeprowadzonych badań autor przyjął, iż cecha C jest reprezentowana w postaci:

$$C = (A, V) \quad (2)$$

gdzie:

A, V - definicja cechy: atrybut A (cechy C) posiada wartość V .

Takie przyjęcie jest zgodne z potocznym rozumieniem pojęcia „cecha”, np.

$$\text{cecha wału} = (\text{średnica czopa wału pod łożysko, } \varnothing 120h7) \quad (3)$$

lub

$$\text{cecha wału} = (\text{średnica czopa wału pod łożysko, „średnia”}). \quad (4)$$

Zapisek cech konstrukcyjnych jest dokumentacja projektowo-konstrukcyjna.

2.1.3 Ilościowe i jakościowe wartości cech

W ramach prowadzonych badań zidentyfikowano potrzebę rozróżnienia rodzajów i typów wartości cech ze względu na dziedzinę danej cechy. Wyróżnione rodzaje wartości cech to:

- wartości ilościowe - jak w zależności (3),
- wartości jakościowe - jak w zależności (4).

Ilościowe wartości cechy stanowią zwykle bezpośredni wynik obliczeń inżynierskich, jak np. wartości reakcji podporowych wału. Jakościowe wartości cechy mogą być określone np. w wyniku kodowania lub uzyskane w wyniku kwantowania ilościowych wartości cech [Chmielewski, Grzymała-Busse, 1992]. Mogą one być zapisane lub zakodowane w postaci liczb (zwykle całkowitych dodatnich) lub być wyrażeniami, zapisanymi w postaci znaków alfanumerycznych.

W celu zapobieżenia niepotrzebnej utracie informacji o relacjach i porządku zachodzących między ilościowymi wartościami cech, zastosowano takie sposoby kwantowania i kodowania wartości cech, aby można było zachować relację porządku tam, gdzie porządek ten występuje.

Typy wartości cechy

Bardzo ważną właściwością wartości cechy jest jej typ. Przyjęto następujące typy wartości cech:

- dla wartości ilościowych:
 - typ **obl** (od „wartość obliczona / założona” - np. dane wejściowe i wyjściowe do projektowania), odpowiedni dla ilościowej wartości cechy o wartościach rzeczywistych,
- dla wartości jakościowych:

- typ **nom** (od „nominalna” - dla wartości cech, których dziedziny są zbiorami nie uporządkowanymi, to jest nie wprowadzono w nich relacji porządku „<”, np. kolor - żółty, czerwony itp.),
- typ **lin** (od „liniowa / uporządkowana” - dla wartości cech, których dziedziny są zbiorami uporządkowanymi, to jest wprowadzono w nich relację porządku „<”, np. średnica wału - mała, średnia, duża lub średnica wału - 10, 20, 30 mm).

Kwantowanie i kodowanie ilościowych wartości cech

W celu kwantowania wartości cech konieczne jest określenie dla danego zbioru wartości ilościowych, tzw. progów kwantowania. Progi te określają przedziały wartości ilościowych, którym nadawane są nazwy. Nazwy mogą być traktowane jako wartości jakościowe. Liczba tych przedziałów jest ustalana w zależności od potrzeb. Tabela 1. przedstawia przykład przyjętych progów kwantowania dla wartości cechy „średnica wału” oraz nadanych nazw poszczególnym przedziałom.

Tabela 1. Przykład kwantowania wartości cechy „średnica wału”

Przedziały kwantowania	Wartość jakościowa	Odpowiadająca wartości jakościowej wartość lingwistyczna
(0, 100]	0	„mała”
(100, 300]	1	„średnia”
...

Tabela 2. Przykład kodowania wartości cechy „średnica wału”

Ilościowe wartości cechy „średnica wału”	Wartość jakościowa	Odpowiadająca wartości jakościowej wartość lingwistyczna
10	0	„mała”
100	1	„średnia”
300	2	„duża”
...

W przypadku, gdy zbiór wartości ilościowych jest nieliczny, można zastosować kodowanie tych wartości. Polega ono na bezpośrednim nadawaniu wartościom zbioru nazw wartości jakościowych. Tabela 2. przedstawia przykład kodowania.

Potrzeba konwersji wartości ilościowych będących liczbami rzeczywistymi, np. uzyskanych w wyniku obliczeń, w wartości jakościowe, została podyktowana wymogiem

uogólniania wiedzy projektowej (unikana się w ten sposób reguł pozornie dokładnych i jednoznacznych [Cholewa, Pedrycz, 1987]) oraz założeniem, że rozpatrywane będą skończone liczby przykładów rozwiązań projektowych. Konwersja cech pozwala także zwiększyć uniwersalność pozyskanej wiedzy, ułatwia zapis przykładów oraz upraszcza interpretację uzyskanych reguł.

W celu zachowania relacji porządku zachodzących pomiędzy ilościowymi wartościami cech, stosować można wiele technik kwantowania. Wymienić można tutaj np.: kwantowanie według skali liniowej oraz logarytmicznej. W celu automatycznego generowania zdań w języku naturalnym, dotyczących cech i ich wartości, wartościom liczbowym danej cechy niejednokrotnie przyporządkowuje się nazwy. W przypadku wymogu uproszczenia reguł oraz budowy systemu objaśniającego w systemie doradczym, operacja przyporządkowania nazw cechom ilościowym jest niezbędna. Umożliwi to prawidłowy przebieg dialogu z systemem doradczym, zrozumienie przez użytkownika konkluzji i wyjaśnień systemu co do procesu wnioskowania.

Z przeprowadzonych badań wynika (zob. np.: [Maniak, Moczulski, 1997], [Moczulski, Maniak, 1997]), że wybór liczby progów kwantowania ma kluczowy wpływ na jakość pozyskanej „porcji” wiedzy w sensie merytorycznym. Liczba progów i ich wartości liczbowe mogą być optymalizowane ze względu na np. kryterium błędu klasyfikacji (zob. punkt 4.1.1) lub kryterium uproszczenia reguł (zob. punkt 4.1.2).

2.1.4 Rozwiązanie projektowe

Środek techniczny lub jego część zaspokaja zidentyfikowane potrzeby oraz spełnia określone w trakcie projektowania kryteria. Wydzielone z tego środka podukłady mogą podlegać osobnemu procesowi projektowo-konstrukcyjnemu. Wydzielone układy również mogą być poddane podziałowi aż do określonego przez projektanta stopnia szczegółowości, zapewniającego zanalizowanie działania poszczególnych układów. Na potrzeby przeprowadzonych badań przyjęto, że rozwiązaniem projektowym jest cały środek techniczny lub jego część, którą to część można wyróżnić (wyodrębnić) w środku technicznym. Dobór cząstkowych rozwiązań projektowych może mieć istotne znaczenie dla działania projektowanego wytworu.

2.1.5 System informacyjny

W celu ułatwienia zapisu przykładowych rozwiązań projektowych wprowadzono pojęcie systemu informacyjnego [Pawlak, 1992]. W każdym systemie informacyjnym reprezentowany jest skończony zbiór rozwiązań projektowych. Rozwiązania te charakteryzowane są poprzez ich cechy (atrybuty i wartości). Z każdym atrybutem a należącym do zbioru wszystkich atrybutów A związany jest zbiór jego wartości, który nazywa się dziedziną atrybutu a . Dla opisu rozwiązań projektowych obiektów wprowadza się dwuargumentową całkowitą funkcję ρ , która każdemu rozwiązaniu $x \in X$ i każdemu

atrybutowi $a \in A$ przyporządkowuje wartość v należącą do dziedziny V_a atrybutu a . Z formalnego punktu widzenia system informacyjny jest to czwórka:

$$S = (X, A, V, \rho) \quad (5)$$

gdzie:

X - skończony zbiór rozwiązań projektowych

$$X = \{x_1, x_2, \dots, x_{|X|}\},$$

A - skończony zbiór atrybutów

$$A = \{a_1, a_2, \dots, a_{|A|}\},$$

V - zbiór wartości atrybutów:

$$V = \bigcup_{a \in A} V_a \quad (6)$$

V_a - dziedzina atrybutu a ,

ρ - funkcja informacyjna:

$$\rho : X \times A \rightarrow V \quad \forall_{x \in X} \forall_{a \in A} \rho(x, a) \rightarrow V_a. \quad (7)$$

Poniżej przedstawiono przykład systemu informacyjnego, gdzie:

$$X = \{x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7, x_8\},$$

$$A = \{r, s, t\},$$

$$V_r = \{r_1, r_2, r_3\},$$

$$V_s = \{s_1, s_2, s_3\},$$

$$V_t = \{t_1, t_2, t_3\}.$$

Tabela 3. określa przykładową funkcję ρ dla opisanego systemu informacyjnego. Informacja o rozwiązaniu projektowym w danym systemie informacyjnym jest to zbiór wartości wszystkich cech dla danego rozwiązania w tym systemie, np. $\rho_{x_2}: \{(r, r_2), (s, s_3), (t, t_1)\}$, czyli każdy wiersz w tablicy ρ reprezentuje przykład jednego rozwiązania projektowego.

2.1.6 Zbiór przykładów i jego reprezentacja

W celu pozyskania wiedzy w sposób indukcyjny na podstawie pewnego zbioru przykładów, konieczne jest, aby wszystkie te przykłady stanowiły podzbiór przykładów różnych rozwiązań projektowych, dla których można utworzyć wspólną dziedzinę.

W praktyce wszystkie przykłady są reprezentowane za pomocą stwierdzeń. Zapisu stwierdzeń dokonuje się z zastosowaniem skończonego zbioru cech i ich wartości. W celu zapisu stwierdzeń wymagane jest [Moczulski, 1997a]:

- 1) określenie zbioru cech (preferowane są jakościowe wartości cech) w zakresie:
 - nazw cech, stosowanych do reprezentacji przykładów,

- typów wartości cech (zob. punkt 2.1.2),
- 2) określenie dziedziny dla każdego atrybutu cechy (jako zbioru wartości jakościowych - określonych w postaci nazw) oraz dla cech typu **lin** i **nom** (zob. punkt 2.1.3) - określenie uporządkowania zbioru wartości,
- 3) określenie zbioru rozróżnianych rozwiązań projektowych, których nazwy lub identyfikatory będą stanowiły wartości cech decyzyjnych.

Tabela 3. Przykładowy system informacyjny

r	s	t	X
r_1	s_1	t_1	x_1
r_2	s_3	t_1	x_2
r_3	s_2	t_3	x_3
r_2	s_3	t_1	x_4
r_1	s_1	t_1	x_5
r_3	s_3	t_2	x_6
r_1	s_2	t_3	x_7
r_3	s_2	t_3	x_8

Zbiór przykładów stosowany do pozyskiwania wiedzy w sposób indukcyjny jest reprezentowany zgodnie z funkcją ρ (7) systemu informacyjnego (zob. punkt 2.1.5), co oznacza, że jeden przykład reprezentowany jest przez ciąg cech i wartość cechy decyzyjnej. Przyporządkowania przykładu tego zbioru do rozróżnianych rozwiązań projektowych (identyfikowanych przez wartości cechy decyzyjnej) są reprezentowane za pomocą listy o skończonej liczbie elementów. Możliwe jest przypisanie danego przykładu do dwu lub więcej rozwiązań projektowych (ta sama przesłanka, różne konkluzje). Odpowiada to przypadkowi danych niejednoznacznych, z którymi często można mieć do czynienia w projektowaniu (zob. rozdział 2.5).

W procesie pozyskiwania wiedzy przykłady rozwiązań projektowych mogą pochodzić z dokumentacji techniczno-ruchowej, dokumentacji projektowo-konstrukcyjnej lub być pozyskane od specjalistów.

Przygotowanie odpowiedniego zbioru przykładów jest zadaniem bardzo istotnym, warunkującym poprawność bazy wiedzy pozyskanej w sposób indukcyjny. Należy zwrócić szczególną uwagę na następujące problemy [Moczulski, 1997a]:

- 1) reprezentatywność zbioru przykładów dla pozyskanej „porcji” wiedzy, która winna być osiągnięta za pomocą jedynie nielicznych przykładów spośród liczby możliwej ze względów kombinatorycznych,

- 2) wybór właściwego podzbioru atrybutów (tak zwane atrybuty relewantne [Michalski, 1997]), dla każdego podzbioru przykładów, odpowiadającego danym rozwiązaniom projektowym,
- 3) przeprowadzenie odpowiedniego kwantowania i kodowania ilościowych wartości cech (zob. np. [Moczulski, Kostka, 1997]).

W zastosowaniach praktycznych, związanych z projektowaniem maszyn, zwykle dostępne są bazy danych oraz przechowywana na nośniku papierowym dokumentacja projektowo-konstrukcyjna zawierające od kilkuset do kilkudziesięciu tysięcy przykładów. Praktycznie nie jest możliwe zgromadzenie wszystkich przykładów rozwiązań projektowych. Np. zgromadzony zbiór przykładów dotyczących zastosowania różnych rozwiązań projektowych ([Maniak, 1995], [Maniak, 1995a]) liczący 200 przykładów, stanowił jedynie $\approx 0,2\%$ wszystkich możliwych przykładów (to znaczy możliwych kombinacji wartości cech). Zapewnienie reprezentatywności zbioru przykładów, postulowane w punkcie 1., wymaga odpowiedniego dobrania układu kryteriów postępowania, niezbędnego przy analizie danych projektowych. Wybór atrybutów relewantnych (punkt 2) związany jest ze zbiorem rozwiązań projektowo-konstrukcyjnych. Dla każdego z rozwiązywanych zagadnień cząstkowych procesu projektowego należy wyszczególnić odpowiedni zbiór atrybutów. Poprzez „odpowiedni zbiór atrybutów” należy rozumieć zbiór atrybutów merytorycznie związany z danym zadaniem cząstkowym. Dzięki wyszczególnionemu zbiorowi atrybutów, który może zmieniać się w trakcie optymalizacji tego zbioru, możliwe będzie poprawne klasyfikowanie nowych przykładów. O poprawności klasyfikacji nowych przykładów należy mówić tylko w odniesieniu do zgromadzonego zbioru przykładów, gdyż niemożliwe lub niecelowe jest zgromadzenie wszystkich możliwych rozwiązań projektowych ze wszystkich źródeł. Problem zawarty w punkcie 3. został opisany w dalszej części rozprawy (zob. punkt 2.1.3).

Opisany wcześniej zbiór przykładów często nazywany jest zbiorem uczącym, natomiast zbiór przykładów stosowanych do klasyfikacji (lub testowania pozyskanych reguł) nazywany jest zbiorem testowym. Analogicznie, przykład rozwiązania projektowego nazywany jest przykładem uczącym, a przykład rozwiązania, który jest klasyfikowany w celu oceny zbioru reguł, nazywany jest przykładem testowym.

2.2 Rodzaje procesów projektowych

Do elementarnych zagadnień w procesie projektowania i konstruowania należy m.in. [Dietrych, 1985]:

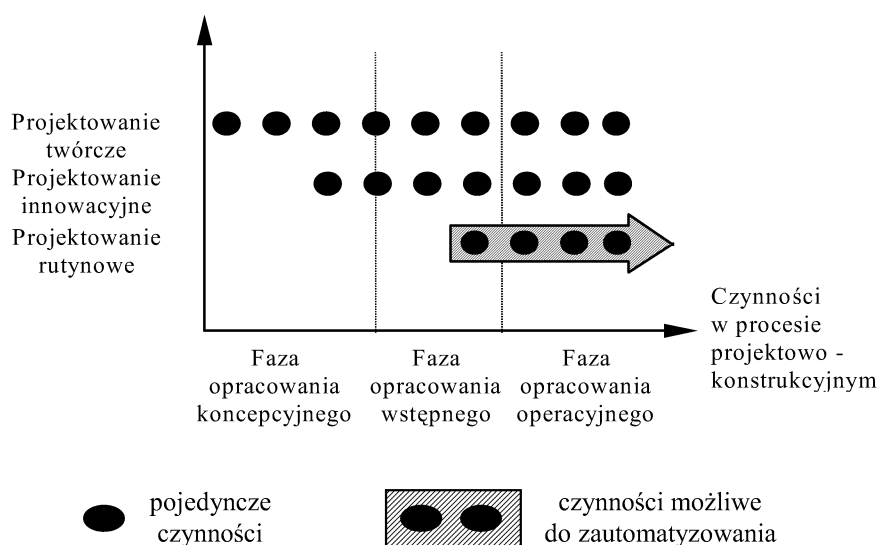
- rozpoznanie potrzeby,
- koncipowanie,
- opracowanie założeń projektowo-konstrukcyjnych.

Rozwiązując duży problem projektowy, należy zdekomponować go na mniejsze zadania, a te z kolei mogą być podzielone na grupy problematyczne.

Ze względu na nakład czasu oraz wysiłek intelektualny projektanta można zidentyfikować kilka podstawowych rodzajów projektowania [Dietrych, 1985]:

- 1) twórcze,
- 2) innowacyjne,
- 3) rutynowe.

Proces projektowo-konstrukcyjny jest procesem sekwencyjno-iteracyjnym, a informacje uzyskane w jednym stadium wymagają niejednokrotnie zmian cech konstrukcyjnych dobranych w stadium poprzednim. Rys. 3. przedstawia niektóre rodzaje projektowania na tle etapów procesu projektowo-konstrukcyjnego.



Rys. 3. Rodzaje projektowania na tle stadiów projektowo-konstrukcyjnych (na podstawie [Klimek, Winkler, 1977])

2.2.1 Projektowanie twórcze

J. Dietrych charakteryzuje ten rodzaj działań na utworach jako „mających na celu poszukiwanie zupełnie nowych środków technicznych i dzięki temu wyznaczanie nowych potrzeb” [Dietrych, 1985]. Działania te należą do działań rozwojowych. Projektowanie twórcze charakteryzuje się trudnością w dekompozycji problemu i brakiem mniejszych zadań problemowych. Zastosowanie systemu doradczego wspomagającego to projektowanie jest bardzo trudne, a w wielu przypadkach niemożliwe. Projektowanie twórcze polega na tworzeniu nowych rozwiązań (artefaktów). Konieczne jest w wielu przypadkach utworzenie prototypu, który będzie później modyfikowany w projektowaniu innowacyjnym, natomiast w projektowaniu rutynowym utworzy się jego różne warianty.

Konstrukcja powstała w wyniku projektowania i konstruowania twórczego jest określana jako oryginalna, gdy działanie odpowiadające opisowi potrzeby wymaga opracowania nowego, niespotykanego dotychczas systemu.

2.2.2 *Projektowanie innowacyjne*

J. Dietrych definiuje ten rodzaj działania jako „stosowanie różnych znanych sposobów projektowania lub konstruowania w celu projektowania zastosowania znanych środków technicznych lub też znanych rozwiązań konstrukcyjnych” [Dietrych, 1985]. Konstrukcja jest określana jako przystosowana (powstała w wyniku projektowania innowacyjnego), gdy przy zachowanym systemie zmieniają się niektóre relacje przekształceń. Działanie środka technicznego jako całości nie ulega istotnej zmianie, zmienia się jednak konstrukcja niektórych zespołów oraz ich rozmieszczenie.

Ten rodzaj projektowania można rozumieć jako tworzenie kombinacji prototypów. W trakcie tego rodzaju projektowania dokonuje się modyfikacji istniejącego projektu. Niejednokrotnie konieczne jest utworzenie kombinacji dwu lub więcej prototypów, z których każdy będzie spełniał zadane kryteria i wymagania.

2.2.3 *Projektowanie rutynowe*

Ten rodzaj działania na utworach J. Dietrych przedstawia jako „działanie polegające na doborze informacji konstrukcyjnej lub tylko projektowej ze względu na zidentyfikowaną potrzebę” [Dietrych, 1985]. Najczęściej polega to na doborze dokumentacji projektowej lub konstrukcyjnej dostępnej w instytucjach projektowo-konstrukcyjnych.

Konstrukcja jest określana jako wariantowa (kompilowana), gdy nie zmienia się systemu oraz gdy występuje stały podział na zespoły i elementy. Natomiast zmienia się postać i układ wymiarów elementów [Dietrych, 1985].

Projektowanie rutynowe wymaga często wielokrotnego dopasowywania założonych wymagań do wymagań podobnych przy już rozwiązanych problemach projektowo-konstrukcyjnych, co w razie znalezienia podobieństwa między założeniami znacznie przyspiesza wykonanie nowego projektu. W trakcie tego projektowania rozwiązuje się zadania podobne lub bardzo podobne do zadań już rozwiązanych i stosuje się fragmenty lub nawet całości znanych konstrukcji. W wyniku projektowania rutynowego tworzone są także różne warianty wcześniejszych prototypów, przy czym korzysta się z katalogów lub zmienia parametry prototypów. Przykłady takiego projektowania przedstawiono np. w [Klimek, Winkler, 1977], [Gendarz, 1983], [Baier, 1998].

Dla tego rodzaju projektowania znany jest każdy etap procesu projektowo-konstrukcyjnego, przy czym kolejność poszczególnych etapów może zmieniać się w zależności od charakteru rozwiązywania nowego problemu projektowego.

2.3 Środki wspomaganie projektowania

Projektowanie jest w swej istocie działaniem twórczym, opierającym się na procedurach heurystycznych. Ponieważ projektowanie jest procesem przetwarzania dużej ilości informacji, komputer staje się przydatnym narzędziem do przetwarzania takiej informacji. Do działań zalgorytmizowanych, jakie realizuje komputer, można zaliczyć m.in.:

- wykonywanie obliczeń,
- wykreślanie figur geometrycznych 2- i 3-wymiarowych,
- wyszukiwanie informacji.

Projektowanie wspomaganie komputerowo jest procesem użytkowania zbioru metod i środków informatycznych (komputerowych), wzmacniającym możliwości twórcze projektanta/konstruktora. Systemem projektowania wspomaganego komputerowo - dalej zwanym systemem *CAD* - nazywa się taki system *człowiek-komputer*, w którym projektant/konstruktor posługuje się oprogramowaniem komputerowym w celu rozwiązania problemu projektowo-konstrukcyjnego, przy czym współdziałanie to zwykle ma charakter interaktywny i jest ułatwione przez zastosowanie odpowiednich narzędzi wejścia/wyjścia [Tarnowski, 1997].

W procesie projektowo-konstrukcyjnym powstają i są przetwarzane informacje potrzebne w kolejnych etapach procesu zaspokajania potrzeb. Każdy z etapów procesu projektowo-konstrukcyjnego może być wspomagany przez odpowiednie pakiety oprogramowania jak np.:

- **CAD** (ang. *Computer-Aided Design*) - projektowanie i konstruowanie wspomaganie komputerowo, oraz **CADD** (ang. *Computer-Aided Design and Drafting*) - zapis konstrukcji wspomagany komputerowo w zintegrowanym procesie projektowania i konstruowania (stosowane programy to np.: *Ideas, ProEngineer, Euclid, CADS 5, Solid Designer, AutoCAD 2D i 3D, ME10, Solid Works, Solid Edge, MicroStation*),
- **CAD/CAM** (ang. *Computer-Aided Design and Manufacturing*) - zintegrowane (komputerowo wspomaganie) konstruowanie i sterowanie produkcją (stosowane programy to np.: *Profil, GTJ, KSPT, MasterCAM, GNC*),
- **CAE** (ang. *Computer-Aided Engineering*) - łączne określenie komputerowego wspomaganie prac inżynierskich, to znaczy systemów łączących *CAD*, analizę pól naprężeń i odkształceń (np. z zastosowaniem *MES* - metody elementów skończonych), obsługę eksperymentu, edytory tekstu, bazy danych i inne (stosowane programy to np.: *Patran, Nastran, Fatigue, Detran, Cosmos, AnSys*),
- **CIM** (ang. *Computer-Integrated Manufacturing*) - zintegrowany, komputerowo wspomagany system technicznego i organizacyjnego przygotowania produkcji oraz nadzoru procesu wytwarzania,

- **CAT** (ang. *Computer-Aided Testing*) - sterowany komputerowo proces kontroli technicznej w procesie wytwarzania.

W zakres komputerowego wspomagania prac inżynierskich, do których mogą być stosowane powyższe pakiety programów, zalicza się:

- 1) wykonywanie obliczeń w jednym przejściu,
- 2) wykonywanie obliczeń iteracyjnych, jak przy optymalizacji i symulacji,
- 3) wykonywanie dokumentacji rysunkowej oraz dokumentacji techniczno-ruchowej,
- 4) wyszukiwanie informacji,
- 5) wspomaganie (przez system doradczy) podejmowania decyzji.

2.3.1 Programy oparte na algorytmach

Szybkość realizacji operacji obliczeniowych wykonywanych przez komputer pozwala w krótkim czasie wykonać pracochłonne obliczenia numeryczne lub przeliczać wiele wariantów rozwiązań, poszukując rozwiązań optymalnych [Pahl, Beitz, 1984]. Obliczenia są wykonywane przy użyciu pojedynczych programów lub różnego typu zestawów programów.

Spśród wielu rodzajów programów wspomagających pracę projektanta/konstruktora do podstawowych można zaliczyć [Pahl, Beitz, 1984]:

- 1) Programy do obliczeń sprawdzających - zakres tych programów obejmuje zarówno zadania najprostsze, występujące w zagadnieniach wytrzymałościowych, jak i problemy, których rozwiązanie wymaga wielogodzinnej pracy komputera, np. obliczenia odkształceń i naprężeń z zastosowaniem metody elementów skończonych.
- 2) Programy do obliczeń projektowych - omówione tu programy są stosowane do obliczeń projektowych elementów ze względu na realizowane przez nie -uprzednio założone - funkcje. W przeciwieństwie do programów do obliczeń sprawdzających, stosowanych dopiero po ukształtowaniu postaci konstrukcyjnej elementu lub po jego odpowiednim dobraniu, programy do obliczeń projektowych służą do określania postaci i wielkości elementu ściśle według sformułowanych wymagań, z uwzględnieniem zadanego stanu obciążenia itp.
- 3) Programy optymalizacyjne - mogą być potraktowane jako wyższa forma programów do obliczeń projektowych. Różnią się od nich sposobem wariantowania wprowadzanych parametrów, tak aby określona wartość lub funkcja przyjęła wartość ekstremalną (optimum). W dziedzinie projektowania i konstruowania zdarzają się często powiązania nieliniowe parametrów lub nieliniowa funkcja celu, co stwarza trudności i pociąga znaczne nakłady czasu przy poszukiwaniu rozwiązania takiego problemu za pomocą komputera.

W wielu przypadkach istnieje możliwość zastosowania kilku algorytmów, które pozwalają na wykonanie obliczeń oraz uzyskanie tych samych wyników. W algorytmach tych stosuje się inne dane i różne kolejne operacje. Pomocne w rozwiązaniu tego problemu są systemy doradcze. Wspomagają one proces doboru algorytmu w zależności np. od posiadanych danych [Wyczółkowski, 1997].

2.3.2 Tablice decyzyjne

Dogodną formą opisu procesów projektowo-konstrukcyjnych są tablice decyzyjne ([Klimek, Winkler, 1977], [Winkler, 1997]). Tablica decyzyjna jest tabelaryczną formą reprezentacji wiedzy, przedstawiającej zależność: „JEŻELI” zostaną spełnione odpowiednie warunki, „TO” podjęte będą określone działania (przyjęte / sformułowane będą określone konkluzje). Tablica decyzyjna jest podzielona na cztery obszary: obszar warunków, obszar konkluzji / działań, obszar reguł wyboru oraz obszar działań zgodnych z danymi regułami (Tabela 4).

Warunki połączone są ze sobą relacją „I”. Reguły wyboru są natomiast połączone relacją „LUB”. Ponadto w tablicy decyzyjnej występuje reguła „W PRZECIWNYM PRZYPADKU”, która jest wybierana w razie niespełnienia przesłanek (warunków) innych reguł.

Tabela 4. Struktura tablicy decyzyjnej (na podstawie [Winkler, 1997])

⇔ relacje „LUB” ⇔

reguły wyboru

↑ re- la- cje „I” ↓	„Jeżeli:”	1	2	3	4	5	...
	obszar opisów			obszar (określenia)			
	warunków			warunków			
	„To:”						
	obszar opisów			obszar (określenia)			
	działań / konkluzji			działań / konkluzji			

Spełnienie warunków określonych dla danej reguły prowadzi do wyboru ciągu działań określonych przez tę regułę. Tablica decyzyjna nie powinna zawierać reguł nadmiarowych oraz nie powinna zawierać reguł sprzecznych, to znaczy posiadających te same przesłanki,

a inne konkluzje / działania. Sama tablica decyzyjna winna być także kompletna, to znaczy powinna zawierać wszystkie możliwe kombinacje wartości warunków.

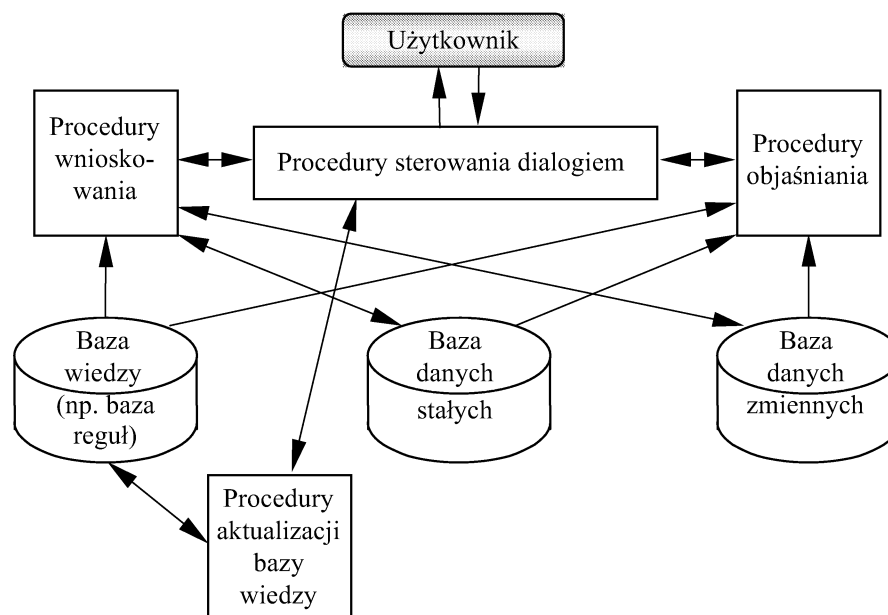
2.3.3 Systemy doradcze

System doradczy [Cholewa, Pedrycz, 1987] jest programem komputerowym lub pakietem takich programów, który „na podstawie szczegółowej, specyficznej wiedzy z danej dziedziny, przechowywanej w systemie komputerowym może wyciągać wnioski, działając w sposób zbliżony do sposobu rozumowania człowieka” [Cholewa, 1996]. Systemy doradcze są programami komputerowymi, w których podjęto próbę formalnego zapisu wiedzy heurystycznej.

W systemie doradczym wyróżnia się następujące podstawowe jego elementy [Cholewa, 1996] (Rys. 4):

- procedury wnioskowania,
- procedury objaśniania,
- procedury sterowania dialogiem pomiędzy użytkownikiem a systemem doradczym, umożliwiające formułowanie zadania przez użytkownika i przekazanie rozwiązania przez system,
- procedury aktualizacji zawartości bazy wiedzy,
- bazy:
 - wiedzy,
 - danych stałych,
 - danych zmiennych.

Specyficznym rodzajem systemów doradczych mających szczególne zastosowanie, np. w projektowaniu i konstruowaniu, są „inteligentne” systemy, które pozwalają, prócz wnioskowania i prowadzenia dialogu z użytkownikiem tylko na podstawie wiedzy zapisanej w bazie wiedzy, także na „uczenie się” od użytkownika. Taki rodzaj systemu doradczego umożliwia pewien sposób zautomatyzowanego pozyskiwania wiedzy od użytkownika-specjalisty. W przypadku gdy system nie znajduje rozwiązania w bazie wiedzy, np. w wyniku zbyt ograniczonej bazy, zadanie to musi być rozwiązane przez specjalistę, a system zapisuje nowe rozwiązanie w swojej bazie wiedzy. W sytuacji, gdy system wyszuka kilka rozwiązań, wówczas rejestruje w bazie wybrane przez użytkownika rozwiązanie, aktualizując odpowiednie wagi tego rozwiązania. Pozwala to na określenie rozwiązania podobnego problemu w przyszłości. Przykład systemu zwanego SES (ang. *Shared Expertise Space*) do automatycznego pozyskiwania wiedzy w trakcie współpracy specjalisty-projektanta z systemem doradczym został przedstawiony w [Dybala, Tecuci, 1995].



Rys. 4. Główne elementy systemu doradczego (na podstawie [Cholewa, Pedrycz, 1987])

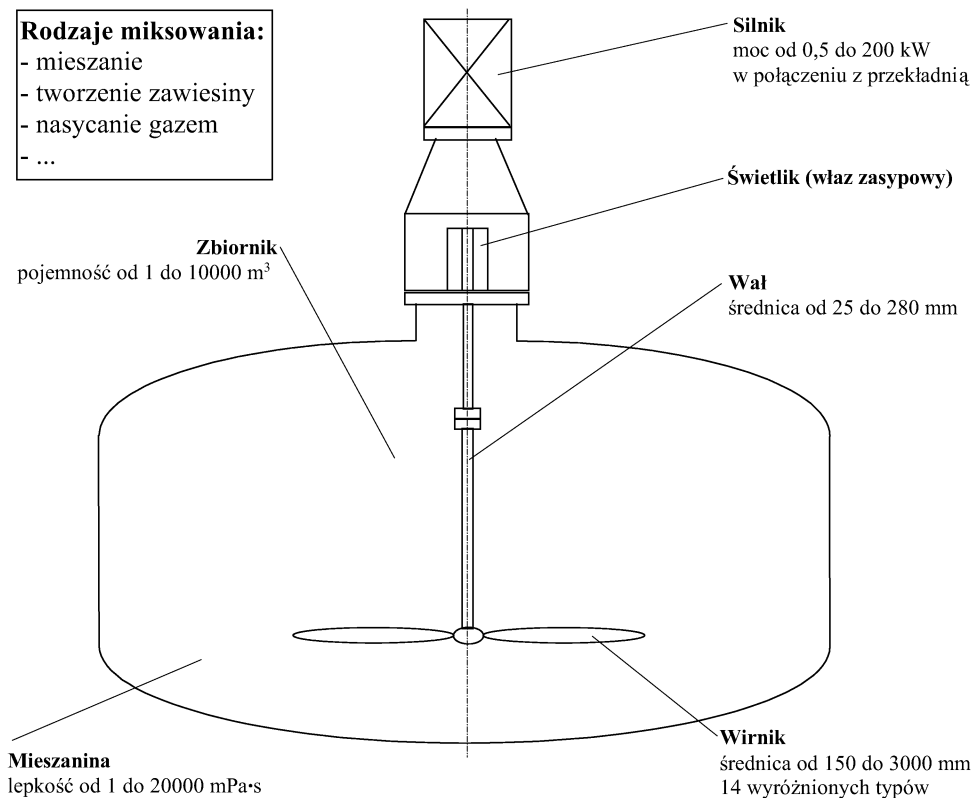
2.4 Przykłady systemów wspomagających rozwiązywanie zadań rutynowych

2.4.1 System COMIX

System *COMIX* (ang. *Configuration of Mixing Machines*) [Brinkop, Laudwein, Maassen, 1994] jest systemem, który wspomaga projektowanie maszyn mieszających. Danymi wejściowymi do projektowania są m.in. wymagania klienta. Maszyny mieszające (mieszalniki) są szeroko stosowane w przemyśle chemicznym, farmaceutycznym, spożywczym i innych. Rys. 5. przedstawia schemat mieszalnika. Budowa mieszalnika jest prosta, ale każdy z modeli mieszalnika w zależności od przeznaczenia może być zaprojektowany z zastosowaniem różnych elementów. Można wyróżnić tu np. kilka rodzajów wirnika mieszającego, wały o różnej konstrukcji, silniki o różnych mocach, pochodzące od wielu producentów itp.

W *COMIX* zostały zintegrowane główne elementy systemu doradczego, takie jak bazy danych, w których zawarte są m.in. dane o dostępnych elementach oraz ich parametrach technicznych, a także bazy wiedzy reprezentowanej w odpowiedni sposób. Proces projektowy wspomagany przez *COMIX* składa się z dwóch etapów:

- określanie rodzaju maszyny na podstawie informacji dotyczących zadania wykonywanego przez tę maszynę,
- kompletowanie zespołów, z których będzie składał się mieszalnik, na podstawie danych ilościowych określonych przez klienta.



Rys. 5. Pole możliwych rozwiązań mieszalnika
 (na podstawie [Brinkop, Laudwein, Maassen, 1994])

Zastosowanie systemu przyniosło wiele korzyści. Zwiększyła się liczba projektowanych mieszalników w porównaniu z okresem, kiedy system nie był stosowany. Czas opracowywania projektu został zdecydowanie skrócony, wzrosła liczba zamówień, dzięki czemu koszty poniesione na budowę systemu bardzo szybko zwróciły się.

2.4.2 System doradczy dla potrzeb technicznego przygotowania produkcji

Zbudowany w Katedrze Technologii Maszyn i Zintegrowanych Systemów Wytwarzania Politechniki Śląskiej system doradczy [Knosala *et al.*, 1995] wspomaga projektowanie procesów technologicznych tłoczyk i dławnic siłowników hydraulicznych. Zaletą stosowania systemu jest skrócenie i uproszczenie cyklu technicznego przygotowania produkcji wytworu poprzez szybki i łatwy dostęp do sprawdzonych i zoptymalizowanych rozwiązań zawartych w bazie wiedzy systemu. System doradczy pozwala gromadzić i przetwarzać wiedzę technologiczną do czego przyczynia się wybrana reprezentacja wiedzy za pomocą ram. Źródłami wiedzy niezbędnej do budowy baz wiedzy systemu byli:

- specjaliści-technologzy pracujący w zakładzie wytwarzającym siłowniki hydrauliczne,
- dokumentacja technologiczna wdrożonych do produkcji siłowników.

Wiedza od specjalistów-technologów została pozyskana metodą dialogu, który miał na celu identyfikację rozwiązań istotnych problemów decyzyjnych procesu tworzenia technologii. Wiedza z dokumentacji technologicznej została pozyskana metodami „uczenia maszynowego”:

- 1) na podstawie przykładów - w metodzie tej generuje się ogólny opis rozwiązań problemów decyzyjnych (w tym przypadku - procesów technologicznych) na podstawie zbioru przykładów i kontrprzykładów opisów tych rozwiązań; ogólny opis otrzymano stosując indukcyjną metodę „uczenia maszynowego”,
- 2) na podstawie analogii - w metodzie tej dokonuje się transformacji istniejącej wiedzy, aby mogła być użyteczna do opisu faktów podobnych do tych, które już wcześniej zostały zawarte w bazie wiedzy.

Jako narzędzie do zapisu baz wiedzy i budowy całego systemu doradczego zastosowano szkieletowy system doradczy MAS [Cholewa, 1993a].

2.4.3 System do wspomaganie konstruowania stalowych kratownic wysokich budynków

System wspomaga konstruowanie wysokich budynków ([Arciszewski, 1994], [Szczepanik, Arciszewski, Wnek, 1995]) przy uwzględnieniu ich podatności na działanie wiatru. Źródłami zastosowanymi do pozyskiwania wiedzy byli:

- specjaliści-konstruktorzy zajmujący się konstruowaniem wysokich budynków,
- przykłady rozwiązań konstrukcyjnych wygenerowanych przez komputerowy system SODA służący do analizy, konstruowania i optymalizacji kratownic stalowych.

W celu pozyskania odpowiedniej „porcji” wiedzy zastosowano indukcyjne metody „uczenia maszynowego” jak:

- metodę generowania reguł z zastosowaniem pokryć,
- metodę generowania reguł z zastosowaniem teorii zbiorów przybliżonych.

Środkami komputerowymi były odpowiednio: programy AQ15c i AQ17-HCI oraz program *DataLogic*. Wygenerowane tymi środkami reguły zweryfikowane zostały z zastosowaniem sformalizowanych technik testowania - *leave-one-out* oraz *holdout*, przy czym uzyskano niskie błędy klasyfikacji.

2.5 Dane i wiedza w projektowaniu

W przypadku projektowania rozróżnić można następujące rodzaje danych [Dietrych, 1985]:

- dane wejściowe do procesu projektowania i konstruowania, dotyczące wstępnych założeń, np. przenoszona moc przez przekładnię, przełożenie, sprawność, itp.,

- wyniki obliczeń inżynierskich, dotyczące sił i naprężeń występujących w projektowanym wytworze, zależności wymiarowych, itp.,
- dotyczące warunków działania wytworu,
- dotyczące lokalizacji i ograniczeń spowodowanych ewentualnym istniejącym otoczeniem,
- dotyczące montażu, podane przez wytwórcę jako zalecane wartości jakiegoś parametru (np. dynamicznej cechy konstrukcyjnej).

W wyniku wstępnych badań nad zastosowaniami metod tak zwanej „sztucznej inteligencji” do rozwiązywania problemów o charakterze ogólnym stwierdzono, że warunkiem skutecznego wspomaganie rozwiązywania problemów przez systemy doradcze jest odpowiednie określenie dziedziny zastosowania, która nie powinna być zbyt rozległa [Cholewa, Pedrycz, 1987]. Rozwiązanie danego zadania projektowego (np. o charakterze rutynowym) poszukiwane jest wówczas w przestrzeni możliwych rozwiązań o mniejszej mocy, co istotnie wpływa na efektywność tego poszukiwania. Opis dziedziny zastosowania obejmuje m.in. wykaz rozwiązań projektowych, atrybuty tych rozwiązań oraz wartości cech. Określenie niezbyt licznych zbiorów wyszczególnionych rozwiązań projektowych, cech oraz wartości spowoduje: zwiększenie uniwersalności pozyskanej wiedzy, ułatwienie zapisu przykładów, uproszczenie interpretacji pozyskanej „porcji” wiedzy.

Wiedza projektowa podlega ciągłym zmianom i systematycznie się powiększa, gdyż co jakiś czas powstają nowe hipotezy i teorie, na których oparte są algorytmy, a także tworzone są nowe konstrukcje maszyn, które można stosować w nowych rozwiązaniach. Mimo iż wiedza projektowa podlega zmianom, to zmiany te zachodzą dość rzadko. Można uznać, że w danym przedziale czasu, mierzonym w miesiącach i kwartałach, wiedza projektowa ma charakter statyczny. Projektowanie jest dziedziną, w której zastosować można wiele algorytmów. Można je stosować w trakcie projektowania i konstruowania różnych obiektów, np. podstawowy algorytm obliczeń i doboru łożysk tocznych może być użyty zarówno podczas projektowania łożyskowania przekładni zębatej jak i podczas doboru łożyskowania piasty koła samochodowego.

Wiedza w wielu przypadkach jest:

- przybliżona - przybliżony charakter wiedzy dotyczącej różnych rozwiązań projektowych odpowiada sposobowi rozumowania specjalisty, który także rozumuje w sposób przybliżony; dlatego też nie zawsze można sposób rozumowania specjalisty opisać modelami klasycznej logiki formalnej [Cholewa, Pedrycz, 1987],
- niepewna - niepewność wiedzy może być spowodowana np. rozbieżnymi opiniami specjalistów (zob. uwaga powyżej) lub pozyskiwaniem tej wiedzy na podstawie zbioru przykładów, zawierających brakujące wartości, przykłady sprzeczne

(przyporządkowane do różnych rozwiązań projektowych¹) lub niedokładne; niepewność wiedzy może być także wynikiem stosowania różnych procedur projektowania oraz korzystania z różnych pozycji literatury zawierających odmienne zalecenia autorów,

- niejednoznaczna - niejednoznaczność wiedzy wynika np. z faktu, że w wielu przypadkach, a szczególnie w trakcie projektowania, możliwe jest zastosowanie kilku rozwiązań spełniających te same wymagania.

2.6 Środki reprezentacji danych i wiedzy w systemach doradczych wspomagających proces projektowania

Zastosowany sposób reprezentacji danych i wiedzy winien umożliwić identyfikację: rozwiązań projektowych danej dziedziny, cech charakteryzujących te rozwiązania, wartości tych cech oraz stopni prawdziwości reguł projektowania. Jeśli mają być reprezentowane wartości cech ciągłych, zwykle zachodzi potrzeba kwantowania i/lub kodowania tych wartości, wówczas konieczna jest również reprezentacja sposobów przekształcania wartości cech ciągłych w wartości dyskretne.

W celu umożliwienia reprezentacji danych i wiedzy należy opisać (lub zdefiniować) tzw. dziedzinę zastosowania. Opis dziedziny zastosowania jest zapisem podstawowej wiedzy na temat zagadnienia objętego badaniami (zob. punkt 2.6.1).

W systemie doradczym wspomagającym projektowanie i konstruowanie, można zastosować środki reprezentacji danych i wiedzy takie, jak:

- stwierdzenia (zob. punkt 2.6.2),
- sieci stwierdzeń,
- reguły (zob. punkt 2.6.2),
- reguły rozmyte,
- tablice decyzyjne (zob. punkt 2.3.2; poza tym np. [Klimek, Winkler, 1977], [Winkler, 1997]),
- ramy [Cholewa, 1993],
- klasy [Cholewa, Moczulski, 1990],
- drzewa decyzyjne (zob. punkt 2.6.2, poza tym np. [Quinlan, 1986]),
- sieci neuronalne [Tadeusiewicz, 1993], [Korbicz, 1994], [Kosmol, 1996],
- hipertekst [Moczulski, 1994a], [Skarka, 1997], [Psiuk, Skarka, 1999].

¹ W niektórych przypadkach nie jest to błędem, gdyż w trakcie projektowania niejednokrotnie mamy do czynienia z przykładami, dla których określić możemy więcej niż jedno rozwiązanie projektowe.

Wybór jednej z technik reprezentacji wiedzy uzależniony jest od kilku czynników, takich jak [Cholewa, Pedrycz, 1987]:

- 1) rodzaj wiedzy wymaganej dla poprawnego działania systemu doradczego,
- 2) rodzaj dziedziny zastosowania, której wiedza ma być objęta zapisem,
- 3) oczekiwana wielkość budowanej bazy wiedzy,
- 4) rodzaj sprzętu komputerowego (wielkość pamięci operacyjnej, szybkość obliczeń wykonywanych przez procesor) itp.

Większość wymienionych środków reprezentacji danych i wiedzy została szczegółowo opisana w dostępnej literaturze (np.: [Cholewa, Pedrycz, 1987], [Cholewa, Moczulski, 1990], [Cholewa, 1993], [Cholewa, 1996]). W dalszej części rozdziału zostaną omówione te środki, które stosowane były w opisywanych badaniach.

2.6.1 Opis dziedziny zastosowania

Opis ten obejmuje m.in.:

- wykaz rozpatrywanych rozwiązań projektowych,
- wykaz atrybutów, zdefiniowanych dla rozwiązań projektowych,
- wykaz wartości (jakościowych) cech rozwiązań projektowych zdefiniowanych dla poszczególnych cech,
- opisy sposobów kwantowania i/lub kodowania wartości ilościowych, w wyniku czego otrzymywane są wartości jakościowe.

Przed dokonaniem wyboru sposobu reprezentacji danych i wiedzy projektowej, konieczne jest ograniczenie mocy przestrzeni reprezentacji wybranej dziedziny. Wymóg ten może zostać spełniony poprzez określenie:

- 1) minimalnej liczby rozwiązań projektowych,
- 2) minimalnej liczby atrybutów mających wpływ na wybór danego rozwiązania projektowego,
- 3) odpowiednich zbiorów wartości cech.

Zbiory wartości cech winny zawierać jedynie kilka elementów, przy czym zaleca się użycie wartości jakościowych lingwistycznych. Należy podkreślić wagę prawidłowego wyboru atrybutów oraz zbiorów wartości cech, gdyż będą one służyły do reprezentacji danych i wiedzy projektowej.

Z doświadczenia autora wynika, że zidentyfikowanie odpowiedniej przestrzeni reprezentacji dziedziny zastosowania jest kluczowym i bardzo pracochłonnym zadaniem w procesie pozyskiwania wiedzy (zob. np.: [Moczulski, Maniak, 1997], [Ciupke, Maniak, 1998]). Szczególnie istotne są problemy właściwego wyboru zbioru atrybutów, określenia

sposobu przekształcania ilościowych wartości cech w wartości jakościowe oraz wyboru zbioru wartości cech (wraz z ewentualnymi nazwami tych wartości). Prawidłowy wybór merytorycznie poprawnego zbioru cech i ich wartości oraz wybór sposobu przekształcania wartości ilościowych w wartości jakościowe ma bardzo duże znaczenie w całym procesie pozyskiwania wiedzy. Wybór różnych zbiorów atrybutów, wartości cech lub różnych sposobów kwantowania powoduje generowanie różniących się zbiorów reguł, co z kolei powoduje inną klasyfikację nowych przykładów. W związku z tym konieczne jest przeprowadzenie czasochłonnych badań i testów w celu wyboru optymalnych zbiorów cech i ich wartości oraz sposobu kwantowania z uwzględnieniem przyjętych kryteriów.

2.6.2 *Reprezentacja danych i wiedzy*

W celu reprezentacji różnych rozwiązań projektowych konieczne jest zastosowanie takiego środka, który nie wymaga modyfikacji ze względu na zwiększanie stopnia szczegółowości opisu. Takim środkiem reprezentacji danych są stwierdzenia.

Stwierdzenia umożliwiają reprezentację cech określających rozwiązania projektowe. Do zapisu stwierdzeń można stosować zarówno cechy o wartościach ilościowych jak i cechy o wartościach jakościowych. Aby reprezentować wiedzę, zwykle stosuje się cechy jakościowe. Takie postępowanie jest uzasadnione sposobem rozumowania człowieka. Człowiek zazwyczaj posługuje się pojęciami jakościowymi i stosuje przybliżone metody wnioskowania. Celowym posunięciem jest zastosowanie wartości lingwistycznych, co ułatwia użytkownikowi systemu doradczego zrozumienie przeznaczonych dla niego komunikatów, jak objaśnienia i konkluzje końcowe. Dodatkowo możliwe jest zapisywanie wiedzy o charakterze ogólnym, np. dotyczącej większej liczby rozwiązań projektowych. „Dopasowanie” ogólnej wiedzy projektowej do indywidualnych właściwości poszczególnych rozwiązań (które w przypadku projektowanych wytworów mogą być np. spowodowane całkowicie innym przeznaczeniem lub ich użytkowaniem w różnych warunkach) następuje wówczas przez określenie sposobów kwantowania i kodowania wartości ilościowych cech indywidualnie dla każdego projektowanego wytworu. Reprezentacja wiedzy z użyciem skwantowanych i zakodowanych wartości cech umożliwia także ograniczenie poszukiwania rozwiązania do przestrzeni o skończonej mocy.

Ogólny podział sposobów reprezentacji wiedzy projektowej obejmuje takie sposoby jak:

- proceduralny (polegający na określeniu zbioru procedur, których działanie reprezentuje wiedzę o dziedzinie [Cholewa, 1996]),
- deklaracyjny (obejmujący reprezentację wiedzy za pomocą różnych środków jak m.in.: stwierdzenia, reguły, drzewa decyzyjne, tablice decyzyjne, sieci semantyczne, ramy).

Reprezentacja proceduralna jest typowa dla procesu projektowo-konstrukcyjnego, ponieważ w tym przypadku istnieje wiele algorytmów, które wskazują kolejne kroki

wykonywania obliczeń inżynierskich i postępowania projektanta. Celem autora było natomiast pozyskanie wiedzy projektowej reprezentowanej w sposób deklaratywny. W dalszym ciągu pracy omówiono przede wszystkim reprezentację wiedzy w sposób deklaratywny, a w celu reprezentacji tej wiedzy zastosowano reguły.

Stwierdzenia

Dzięki takiemu sposobowi reprezentacji wiedzy, możliwe jest zapisanie tego, co zaszło lub zachodzi w rzeczywistości [Cholewa, Pedrycz, 1987]. Stwierdzenie, że „rozwiązaniu projektowemu X przysługuje cecha C ” jest reprezentowane w ogólnej postaci:

$$(X, C) \quad (8)$$

lub

$$(X, C, T) \quad (9)$$

gdzie:

C - cecha określona zależnością (2),

T - wartość stwierdzenia, ocena stopnia prawdziwości i/lub przekonania o prawdziwości treści stwierdzenia; w szczególnym przypadku może być stosowany stopień pewności CF (ang. *certainty factor*) [Cholewa, Pedrycz, 1987]. W najprostszym przypadku wartość stwierdzenia może być jednym z elementów zbioru dwuelementowego, gdzie: 0 oznacza fałsz i 1 oznacza prawdę.

Reguły

Reguły są środkiem reprezentacji wiedzy w sposób deklaratywny. Reguła zapisywana jest w następujący sposób:

$$\text{jeśli przesłanka to konkluzja (działanie)} \quad (10)$$

Przesłanki reguł zawierają jeden lub więcej warunków połączonych funktorami logicznymi. Konkluzją danej reguły jest pojedyncze stwierdzenie (X, C) . Wymaga się, aby w przesłankach i konkluzji występowały jedynie takie cechy, które są określone dla danego rozwiązania projektowego, a także wartości, które są określone dla atrybutów zastosowanych w danej cesze.

Rozróżnić można dwa rodzaje reguł:

- reguły proste,
- reguły złożone.

Zaletą reguł prostych jest łatwość weryfikacji zbioru reguł i ograniczenie redundancji; wadą jest potrzeba realizacji złożonych działań przez układ wnioskujący, ponieważ

uaktywnić trzeba wiele reguł. Zaletą reguł złożonych jest to, że nie wymagają układów wnioskujących o skomplikowanym sposobie działania, ponieważ każda z reguł zawiera jakąś końcową konkluzję. Wadą takiego podejścia jest trudność formułowania odpowiedniego zbioru reguł oraz złożony sposób jego weryfikacji i uzupełniania przez inżyniera wiedzy² (ang. *Knowledge Engineer*).

W dalszej części rozprawy będą rozpatrywane wyłącznie reguły złożone.

Drzewa decyzyjne

Drzewa decyzyjne są w głównej mierze środkiem reprezentacji wiedzy w sposób deklaratywny oraz, w pewnym stopniu, w sposób proceduralny (gdyż określają kolejność badania elementarnych warunków i wykonywanie działań mogących mieć skutki uboczne, co może być uznane za pewną formę metawiedzy). Drzewa decyzyjne umożliwiają bardzo efektywną organizację procesu wnioskowania z zastosowaniem wielu atrybutów.

Tablice decyzyjne

Opisane w punkcie 2.3.2 tablice decyzyjne są środkiem wspomaganie projektowania i jednocześnie środkiem reprezentacji wiedzy projektowej.

2.7 Proces pozyskiwania wiedzy projektowej

Celem procesu pozyskiwania wiedzy jest zgromadzenie 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 działania człowieka podczas rozwiązywania problemów z tej dziedziny [Moczulski, 1997a].

W procesie pozyskiwania wiedzy można wyróżnić następujące stadia (na podstawie [Moczulski, 1997a]):

- 1) wyszczególnienie dziedziny zastosowania oraz zadań projektowych, których rozwiązywanie ma być wspomagane przez wyspecjalizowany system doradczy, dla którego wiedza ma być pozyskana,
- 2) identyfikacja i pozyskanie źródeł wiedzy,
- 3) wybór środków reprezentacji danych (przykładów rozwiązań projektowych) i wiedzy,
- 4) pozyskanie wiedzy projektowej i zapis wstępnej wersji bazy wiedzy,
- 5) weryfikacja wstępnej wersji bazy wiedzy dla zbioru przykładów testowych,

² Termin „inżynier wiedzy” będzie stosowany w dalszej części rozprawy ze względu na trudności w przetłumaczeniu terminu angielskiego „Knowledge Engineer” oraz powszechne jego stosowanie. Według J. Dietrycha, inżynier to osoba działająca na konkretach [Dietrych, 1985] natomiast wiedza jest abstraktem. Z tego też względu autor uważa termin „inżynier wiedzy” za niepoprawny merytorycznie.

- 6) rozbudowa bazy wiedzy do pełnej wersji,
- 7) powtórna weryfikacja, zidentyfikowanie i usunięcie błędów wykrytych w bazie wiedzy,
- 8) wartościowanie bazy wiedzy przez niezależnych specjalistów-projektantów.

Pozyskiwanie wiedzy odbywa się z zastosowaniem odpowiednich metod i środków wspomagających.

2.7.1 Źródła wiedzy projektowej

Najważniejszymi źródłami wiedzy dla systemów doradczych wspomagających rozwiązywanie zadań projektowych są:

- dokumentacja projektowo-konstrukcyjna utworzona dla producenta w celu wykonania wytworu, zawierająca rysunki wykonawcze, złożeniowe, zestawieniowe, warunki kontroli odbioru itp.,
- dokumentacja techniczno-ruchowa utworzona dla użytkownika w celu prawidłowej eksploatacji i obsługi wytworu, zawierająca instrukcję obsługi, instrukcje remontowe, wykazy elementów wymiennych itp.,
- istniejące wytwory, które w wyniku ich analizy pozwalają zidentyfikować niektóre cechy konstrukcyjne w ramach tak zwanego odtwarzania konstrukcji [Dietrych, 1985],
- specjaliści z zakresu danej dziedziny zastosowania, uczestniczący w procesie pozyskiwania wiedzy:
 - bezpośrednio - poprzez osobisty udział danego specjalisty,
 - pośrednio - specjaliści są autorami literatury fachowej, publikacji itp., których treść jest następnie interpretowana przez osoby trzecie lub przez odpowiednie oprogramowanie (zob. np.: [Moczulski, 1997a]).

Wówczas gdy dostępne są różne źródła wiedzy, konieczne jest podjęcie decyzji, które z tych źródeł zostaną zastosowane do pozyskiwania wiedzy, czy będą to tylko specjaliści, czy będzie to tylko dokumentacja projektowo-konstrukcyjna czy też publikacje [Anumba, Scott, 1996]. W razie połączenia różnych źródeł wiedzy możliwe jest pozyskanie niepoprawnej merytorycznie „porcji” wiedzy i otrzymanie wysokich błędów klasyfikacji, mimo iż przed połączeniem tych źródeł pozyskano wiedzę poprawną merytorycznie i uzyskano małe błędy klasyfikacji nowych przykładów.

W trakcie zapisu przykładów rozwiązań projektowych przykładom tym przypisywane są wartości cechy decyzyjnej przez nauczyciela/specjalistę. Jest to tak zwane uczenie z nauczycielem. Należy zwrócić szczególną uwagę na staranność przypisywania, aby uniknąć pozyskania wiedzy merytorycznie niepoprawnej. Można rozróżnić dodatkowo tak

zwane odkrywanie z baz danych, dla których to danych reprezentujących przykład nie jest możliwe określenie cechy decyzyjnej.

Spośród wymienionych źródeł wiedzy projektowej należy zwrócić uwagę na dokumentację projektowo-konstrukcyjną uzupełnioną przykładami pozyskanymi z fachowej literatury i publikacji. Ze źródeł tych pozyskiwane są wartości liczbowe wyszczególnionych cech konstrukcyjnych, które następnie w etapie kwantowania i kodowania są zamieniane na wartości jakościowe (np. reprezentowane przez wartości lingwistyczne).

Specjaliści mogą dostarczać rozwiązania projektowe dla potrzeb pozyskiwania wiedzy projektowej oraz testowania bazy wiedzy. Podobnie, dokumentacja projektowo-konstrukcyjna, dokumentacja techniczno-ruchowa oraz dane wejściowe i wyjściowe do procesu projektowania mogą być źródłem przykładów do pozyskiwania wiedzy metodami indukcyjnymi z zastosowaniem tak zwanego uczenia z nauczycielem.

2.7.2 *Pozyskiwanie wiedzy z dokumentacji projektowej metodami „uczenia maszynowego”*

W celu bardzo efektywnego pozyskiwania wiedzy z różnych źródeł (szczególnie z dokumentacji projektowo-konstrukcyjnej oraz fachowej literatury) stosuje się indukcję wiedzy na podstawie przykładów wstępnie sklasyfikowanych przez nauczyciela (specjalistę). Metody indukcyjne szczególnie przydatne są w przypadku bardzo obszernych zbiorów przykładów uczących, które zawierają wiele atrybutów i wartości cech oraz bardzo dużo przykładów.

Obszerne zbiory przykładów uczących można zgromadzić analizując dostępne źródła wiedzy projektowej. Źródła te zawierają m.in.:

- zapisy wyników obliczeń inżynierskich,
- komentarze do obliczeń,
- rysunki wykonawcze, złożeniowe, zestawieniowe, ofertowe i inne będące zapisem konstrukcji.

Przykłady rozwiązań projektowych, zidentyfikowane na podstawie ww. nośników informacji projektowej są wstępnie klasyfikowane poprzez przypisanie im przez specjalistę nazw szczegółowych rozwiązań projektowych.

Do pozyskiwania wiedzy indukcyjnymi metodami „uczenia maszynowego” przykłady uczące są reprezentowane za pomocą tablicy ρ systemu informacyjnego (zob. punkt 2.1.5). Przeważnie zbiór dostępnych przykładów uczących jest nieliczny w odniesieniu do liczby możliwych elementów przestrzeni reprezentacji cech.

Indukcyjne metody „uczenia maszynowego” mogą być także użyte do modyfikacji i poprawiania zawartości baz wiedzy. Jedną z możliwości jest tak zwane uczenie przyrostowe (ang. *Incremental Learning* [Hong, Mozetic, Michalski, 1986], [Wnek *et al.*, 1995], [Michalski, 1997]). Stosowane jest ono w przypadku metody indukcyjnego uczenia

maszynowego za pomocą generowania pokryć. Danymi do procesu uczenia są reguły wstępne (zwane hipotezami wejściowymi) oraz przykłady uczące. Reguły wstępne mogą być pozyskane od specjalisty lub specjalistów. Przykład zastosowania hipotez wstępnych do indukcji reguł został pokazany np. w [Maniak, 1996] oraz [Moczulski, 1997]. W pracy [Maniak, 1996] stwierdzono, iż zastosowanie hipotez wstępnych pochodzących od specjalisty oraz z fachowej literatury powodowało nieznaczny wzrost błędu klasyfikacji w porównaniu z wynikami uzyskanymi bez zastosowania hipotez wstępnych. Zaletą zastosowania reguł wstępnych jest brak nadmiernego dopasowania zbioru reguł do zbioru przykładów uczących, przez co wiedza zawarta w zbiorze reguł jest bardziej ogólna (zob. punkty 3.1.3 oraz 5.1.1).

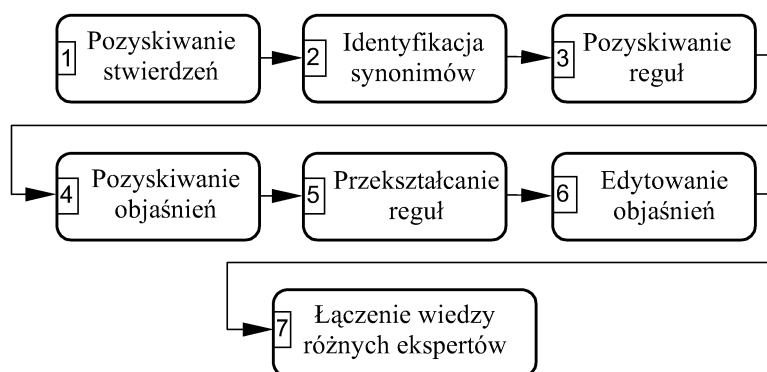
2.7.3 Pozyskiwanie wiedzy projektowej od specjalisty-projektanta

Wiedza od specjalisty-projektanta może być pozyskiwana za pośrednictwem inżyniera wiedzy lub bez tego pośrednictwa. Obecnie w celu ograniczenia roli inżyniera wiedzy (który jest dodatkowym pośrednikiem w procesie pozyskiwania wiedzy) coraz częściej stosowane są komputerowe metody i środki wspomaganie procesu pozyskiwania wiedzy. Wielu problemów można by uniknąć, gdyby specjalista z danej dziedziny zastosowania posiadał jednocześnie umiejętność budowy bazy wiedzy i ewentualnie systemu doradczego. Takie rozwiązanie umożliwiłoby budowę bazy wiedzy i/lub systemu doradczego, które odpowiadałyby wymaganiom stawianym przez specjalistę-projektanta lub innych projektantów. Inne rozwiązanie umożliwiające wyłączenie uczestnictwa pośredników w procesie pozyskiwania wiedzy polega na tym, aby inżynier wiedzy posiadał wystarczającą wiedzę (najlepiej bardzo szczegółową) na temat wybranej dziedziny zastosowania. Wspomniane warunki są jednak bardzo rzadko spełnione. W tym celu tworzy się środki ułatwiające specjalistę przekazywanie posiadanej przez niego wiedzy. Takimi środkami są np. różnego rodzaju formularze. Przykład zastosowania „elektronicznego” formularza do pozyskiwania wiedzy od specjalistów został przedstawiony m.in. w [Moczulski, 1997a], [Wyleżoł, 1998], [Wyleżoł, 1998a].

Udział specjalisty w procesie pozyskiwania wiedzy może być czynny lub bierny. Inżynier wiedzy zwykle przeprowadza wywiady ze specjalistą. Wywiady te dotyczą bądź przypadków typowych dla danej dziedziny, bądź problemów hipotetycznych. Wypowiedzi specjalisty są następnie interpretowane przez inżyniera wiedzy i zapisywane w odpowiedniej bazie wiedzy. Jeśli inżynier wiedzy zidentyfikuje w wypowiedzi specjalisty jakieś reguły projektowania, wówczas zapisywane są one w bazie wiedzy. Jeśli są to przykłady materialnie istniejących rozwiązań projektowych, wówczas zapisywane są one w bazie danych. Ten sposób przebiegu procesu pozyskiwania danych i wiedzy jest jednak problematyczny, ponieważ między innymi mogą wystąpić rozbieżne interpretacje pojęć używanych przez specjalistę i inżyniera wiedzy [Dietrych, 1985].

Inna forma udziału czynnego specjalisty mogłaby polegać na analizie protokołów werbalnych, to jest zarejestrowanych wypowiedzi specjalisty podczas rozwiązywania zadań projektowych. Protokoły te są następnie analizowane przez inżyniera wiedzy w celu zidentyfikowania przykładów rozwiązań projektowych bądź identyfikacji wiedzy i doświadczenia specjalisty. Wiedzę tę można zapisać np. za pomocą reguł.

W procesie pozyskiwania wiedzy od specjalistów można wyróżnić kilka stadiów (Rys. 6). Jednym z problemów, jakie należy rozwiązać, jest opracowanie takich środków wspomaganie procesu pozyskiwania wiedzy, które umożliwiają przeprowadzenie tego procesu bez udziału inżyniera wiedzy. Wstępne stadia procesu pozyskiwania wiedzy mogą być wspomagane właśnie w ten sposób.



Rys. 6. Etapy procesu pozyskiwania wiedzy od specjalistów
(na podstawie [Moczulski, 1997a])

Kroki 1 - 4 (Rys. 6) wykonywane są samodzielnie przez specjalistę. W realizacji tego zadania wspomaga go i „prowadzi” w odpowiedni sposób system formularzy „papierowych” lub „elektronicznych”.

Kroki 5 - 7 (Rys. 6) realizowane są przez inżyniera wiedzy. Używa on specjalnych środków programowych, jak np. edytor bazy wiedzy. Wyniki tych prac powinny być zweryfikowane przez specjalistę lub specjalistów.

Aby umożliwić pozyskanie wiedzy od specjalistów bez udziału osób pośredniczących w tym procesie, dąży się do budowy odpowiednich środków, które pozwalają na realizację tego celu. Jednym z tych środków jest specjalny formularz.

2.8 Problem badawczy

Opisana w poprzednich punktach problematyka projektowania i wspomaganie tego projektowania umożliwia sformułowanie problemu badawczego. Problem badawczy zostanie sformułowany dla wybranego zadania projektowego, jakim jest projektowanie węzłów łożyskowania tocznego. W trakcie tego projektowania niejednokrotnie można zidentyfikować warunki, dla których istnieje więcej niż jedno rozwiązanie projektowe. Jest to

specyfika dziedziny projektowania takich węzłów. W wielu przypadkach odpowiedź wieloznaczna jest właściwa, a co za tym idzie, reguły projektowania nie są jednoznaczne (zob. rozdział 2.5). Dla zadania tego można zidentyfikować następujące właściwości:

1) Można je zdekomponować na mniejsze podzadania.

Wybrane przez autora zadanie można zdekomponować na podzadania, których rozwiązanie jest rutynowe. W zadaniu tym wyróżnić można następujące podzadania:

- dobór układu łożyskowania,
- dobór rodzaju łożyska tocznego,
- dobór sposobu ustalenia łożyska w kierunku osiowym,
- dobór uszczelnień.

2) Podzadania te wymagają projektowania o charakterze rutynowym.

W trakcie projektowania dokonuje się doboru poszczególnych elementów łożyskowania tworzących nierozłączny układ, który będzie spełniał założone wcześniej kryteria oraz wymagania. W trakcie kolejnego etapu, jakim jest konstruowanie, uszczegółowiana jest postać konstrukcyjna poszczególnych elementów (węzła łożyskowego). Konstrukcja tych elementów wyznaczona jest przez ich postać oraz układ wymiarów. Zadanie konstruowania węzłów łożyskowych nie zostało objęte badaniami autora.

3) Problem ten ma duże znaczenie ze względu na trwałość i niezawodność.

Z badań literaturowych oraz konsultacji ze specjalistami wynika, że od konstrukcji łożyskowania zależy trwałość i niezawodność całego układu napędowego.

4) Brak ogólnie uznanego algorytmu projektowania węzłów łożyskowych.

Do warunków decydujących o doborze elementów łożyskowania zaliczyć można nie tylko czynniki wywodzące się z racji celowości technicznej czy możliwości wytwórczych [Dietrych, 1985], ale także czynniki pozamerytoryczne, takie jak: preferowane rozwiązania w danym biurze projektowym, specyficzne możliwości wytwórcze, preferencje klienta itp. Stwierdzić tutaj można brak ogólnie uznanego algorytmu doboru elementów łożyskowania. Jako przykład wskazać można rozwiązania dotyczące łożyskowania koła jezdnego samochodu [Jaśkiewicz, 1960]. W praktyce spotkać można bardzo dużą liczbę rozwiązań projektowych łożyskowania takiego koła. Niemniej jednak uwzględnić należy to, iż jeden wytwórca stosuje wiele podobnych rozwiązań projektowych w produkowanych przez siebie modelach samochodów (w zależności od wersji samochodu, jego przeznaczenia itp.). Każde z tych rozwiązań różnić się może od kolejnego zastosowanym rodzajem łożyska tocznego, sposobem ustalenia tego łożyska czy zastosowanym rodzajem uszczelnienia. Tak więc ogólna liczba rozwiązań projektowych jest bardzo duża. Osobliwość tej dziedziny polega na tym, że można zauważyć wiele podobnych lub

identycznych rozwiązań spełniających takie same założenia projektowe. Przypadek ten można uogólnić do wszystkich wytworów, w których występują węzły łożyskowe, gdzie dla danych wartości wejściowych założeń projektowych niejednokrotnie możliwe jest zastosowanie więcej niż jednego rozwiązania. Ze względu na rutynowy charakter projektowania węzłów łożyskowych istnieje możliwość wspomaganie tego procesu poprzez zastosowanie wyspecjalizowanego w tej dziedzinie systemu doradczego. Jednym z podstawowych elementów takiego systemu jest baza wiedzy (zob. punkt 2.3.3). W celu efektywnego wypełniania bazy wiedzy oraz jej weryfikacji można zastosować indukcyjne metody „uczenia maszynowego” (zob. punkt 2.7.2).

5) Wiedza projektowa może pochodzić z różnych źródeł.

Istnieje wiele źródeł wiedzy potrzebnej do projektowania elementów łożyskowania. Wymienić można m.in.:

- dokumentację projektowo-konstrukcyjną,
- fachową literaturę, w której niejednokrotnie zawarto odmienne zalecenia dotyczące projektowania łożyskowania tocznego,
- wiedzę, doświadczenie i styl pracy specjalistów pracujących w różnych biurach projektowych, co ma odzwierciedlenie w opracowywanych projektach.

Powoduje to, iż celowe staje się pozyskanie wiedzy z różnych jej źródeł i uniknięcie sprzeczności. Jednocześnie można stwierdzić, że algorytmizacja sposobu rozwiązania takich zadań projektowych jest raczej mało prawdopodobna, a często nawet niemożliwa, i dlatego wskazane jest zastosowanie systemu doradczego w celu wspomaganie projektowania. System doradczy powinien umożliwiać wymaganą w przypadku projektowania klasyfikację ze wskazaniem wielu możliwych rozwiązań. Konieczne jest pozyskanie w tym celu odpowiednich zbiorów reguł umożliwiających taką klasyfikację.

6) Wiedza projektowa może być pozyskana różnymi metodami.

Istnieje kilka indukcyjnych metod pozyskiwania wiedzy, co powoduje, iż trudno jest precyzyjnie określić przydatność danej metody do pozyskiwania wiedzy z wybranej dziedziny zastosowania (projektowanie i konstruowanie, medycyna, diagnostyka itp.). Jest więc uzasadnione przeprowadzenie odpowiednich badań porównawczych umożliwiających ocenę tych metod, a w szczególności wiedzy pozyskanej metodami „uczenia maszynowego”.

Problem badawczy polega więc na potrzebie określenia metody pozyskiwania wiedzy umożliwiającej pozyskanie wiedzy uwzględniając przedstawione wcześniej właściwości wiedzy projektowej dotyczącej projektowania węzłów łożyskowych.

Przedmiotem pracy jest zbadanie przydatności metod pozyskiwania wiedzy dla systemów doradczych poprzez:

- zbadanie przydatności tych metod poprzez zastosowanie odpowiednich technik testowania,
- określenie poprawności merytorycznej zbiorów reguł,
- ocenę skuteczności klasyfikacji przykładów testowych.

W dalszej części rozprawy przedstawiono zastosowane w badaniach metody i środki pozyskiwania wiedzy dla systemów wspomagających rozwiązywanie zadań projektowych o charakterze rutynowym.

2.9 Podsumowanie dotyczące przedmiotu badań

Dla potrzeb prowadzonych badań przyjęto następujące założenia, dotyczące przedmiotu badań:

- 1) rozpatrywana jest skończona liczba rozwiązań projektowych posiadających skończoną liczbę elementów, które dla potrzeb projektowania identyfikowane są jedynie za pomocą skończonej liczby cech reprezentowanych przez skończoną liczbę atrybutów i wartości,
- 2) rozwiązania projektowe reprezentowane są za pomocą zbiorów stwierdzeń, które przypisują danemu rozwiązaniu projektowemu zbiór charakterystycznych dla niego cech konstrukcyjnych,
- 3) wiedza projektowa reprezentowana jest w sposób deklaracyjny,
- 4) wiedza będzie pozyskiwana:
 - z dokumentacji projektowo-konstrukcyjnej oraz fachowej literatury (zawierającej przykłady rozwiązań projektowych) - z zastosowaniem metod indukcyjnych „uczenia maszynowego”,
 - od specjalistów z danej dziedziny zastosowań - z zastosowaniem formularza „papierowego”.

Przedstawiony opis przedmiotu badań umożliwił scharakteryzowanie wybranych metod (rozdział 3). Metody te stanowiły podstawę do opracowania zestawu środków wspomagania pozyskiwania wiedzy oraz porównania metod pozyskiwania wiedzy z zastosowaniem przygotowanego w tym celu odpowiedniego układu kryteriów (rozdział 4).

3. METODY POZYSKIWANIA WIEDZY PROJEKTOWEJ

W rozdziale omówiono metody pozyskiwania wiedzy projektowej zastosowane w niniejszej pracy. Metody te są powiązane z pozyskiwaniem wiedzy z podstawowych jej źródeł, takich jak dokumentacja projektowo-konstrukcyjna oraz specjaliści.

3.1 Pozyskiwanie wiedzy w sposób indukcyjny na podstawie przykładów

Dotychczas najczęściej stosowano metodę pozyskiwania wiedzy od specjalistów. Bezpośrednie pozyskiwanie wiedzy od specjalistów w dziedzinie zastosowania jest mało efektywne. W ten sposób można otrzymać co najwyżej dziesiątki reguł w ciągu jednej sesji pozyskiwania wiedzy. Ponadto czas przeznaczony przez specjalistę na zapisanie odpowiednio licznego zbioru reguł jest długi. Dodatkowo, podczas zapisywania dużej liczby reguł specjalista popełnia błędy, np. ponownie zapisuje reguły, już wcześniej przez niego zapisane. Ponadto dalsza rozbudowa bazy wiedzy oraz dołączanie nowych „porcji” wymaga wiele czasu. W związku z tym w odniesieniu do różnych dziedzin praktycznych nie można porzucić na pozyskiwaniu wiedzy tylko bezpośrednio od specjalistów. Pozytywne wyniki nielicznych badań dotyczących pozyskiwania wiedzy projektowej (m.in.: [Arciszewski, 1994], [Szczepanik, Arciszewski, Wnek, 1994], [Michalski, Bratko, Kubat, 1997], [Moczulski, 1997]) oraz wstępne wyniki badań własnych skłoniły autora do podjęcia prac, związanych z zastosowaniem indukcyjnych metod „uczenia maszynowego” do pozyskiwania wiedzy projektowej. Prace te koncentrują się na indukcji reguł z zastosowaniem do tego celu metod „uczenia maszynowego”.

Przy wyborze poszczególnych metod autor kierował się odpowiednim zestawem kryteriów, obejmującym:

- dostępność odpowiednich środków działających według wspomnianych metod,
- wymagania dotyczące zbioru przykładów uczących (możliwość zastosowania przykładów sprzecznych, brakujących wartości cech itp.),
- skuteczność wnioskowania z zastosowaniem bazy wiedzy projektowej, w której zapisano wiedzę pozyskaną w sposób zgodny z daną metodą,
- złożoność obliczeniową,
- łatwość interpretacji pozyskanej wiedzy przez użytkownika.

Istotą zastosowanych metod jest indukcja pewnej „porcji” wiedzy projektowej na podstawie przykładów, których opisy w postaci zbiorów stwierdzeń zgromadzono w odpowiednio przygotowanych bazach danych. Przykłady dotyczą zastosowania znanych rozwiązań odnoszących się do cząstkowego zadania projektowego określonego poprzez założenia projektowe.

3.1.1 Źródła przykładów do indukcji reguł

Stosowane metody indukcyjne (z nauczycielem) wymagały reprezentacji przykładów za pomocą systemu informacyjnego.

Do weryfikacji opracowanych metod i środków pozyskiwania wiedzy metodami indukcyjnymi stosowano cztery rodzaje źródeł przykładów:

- 1) **Wyniki obliczeń projektowych zgromadzone w trakcie projektowania i konstruowania.** W trakcie procesu projektowo-konstrukcyjnego projektant wykonuje wiele obliczeń opartych na różnego rodzaju algorytmach. Wyniki tych obliczeń są zapisywane w dokumentacji projektowo-konstrukcyjnej, a następnie mogą być zastosowane np. do doboru cech konstrukcyjnych danego elementu. Wyniki obliczeń mogą być także użyte jako wartości cech do zapisu przykładów uczących, po wcześniejszym zidentyfikowaniu odpowiednich atrybutów oraz progów kwantowania wartości cech.
- 2) **Dokumentacja w postaci rysunków złożeniowych i wykonawczych.** W wyniku analizy dokumentacji rysunkowej możliwe jest zidentyfikowanie poszczególnych rozwiązań projektowych.
- 3) **Fachowa literatura i publikacje dotyczące projektowania i konstruowania typowych elementów maszyn.** Podobnie jak w przypadku punktu 1. i 2., na podstawie schematów i rysunków zawartych w dostępnej literaturze identyfikowano rozwiązanie projektowe oraz z opisu tych rysunków pozyskiwano dane ilościowe i jakościowe w celu przygotowania odpowiednich przykładów uczących.
- 4) **Specjalista-projektant.** Pozyskane za pomocą formularzy „papierowych” przykłady dotyczące zastosowań różnych rozwiązań projektowych mogą służyć jako dane uczące lub służyć jako dane do weryfikacji wiedzy już pozyskanej (z innych źródeł). Reguły zapisane przez specjalistę-projektanta można zastosować jako reguły wstępne (zob. punkt 2.7.3).

3.1.2 Zbiór przykładów

Szczegółowy opis sposobu reprezentacji zbiorów przykładów znajduje się w punkcie 2.1.6.

Błędy w przykładach uczących

W wielu przypadkach podczas przygotowywania odpowiednich zbiorów przykładów uczących popełniane są błędy, które powodują:

- 1) brak możliwości wygenerowania zbiorów reguł, co jest komunikowane przez odpowiednie programy,

2) wygenerowanie reguł niepoprawnych merytorycznie.

Błędy w przykładach uczących mogą być spowodowane m.in. poprzez:

- błędne zapisanie wartości cech (wskutek błędnie przeprowadzonego kwantowania i/lub kodowania cech ilościowych lub pomyłek przy manualnym zapisie danych),
- przyporządkowanie danego przykładu do niewłaściwego rozwiązania projektowego,
- błędną interpretację przykładów pozyskanych od specjalisty,
- błędną interpretację przykładów rozwiązań projektowych zawartych np. w dokumentacji projektowo-konstrukcyjnej.

Niejednokrotnie przy bardzo obszernych zbiorach zidentyfikowanie błędów w przykładach uczących jest trudne, niemniej jednak należy dążyć do minimalizacji ich liczby lub całkowitego ich wyeliminowania.

Brakujące wartości cech

W trakcie określania sposobu reprezentacji przykładów należy również zdecydować, w jaki sposób będą interpretowane brakujące wartości cech. W sytuacji, gdy nie jest znana wartość danej cechy, większość z indukcyjnych metod „uczenia maszynowego” umożliwia umieszczenie przykładu z brakującymi wartościami cechy w zbiorze przykładów. Istnieje możliwość, aby w miejsce brakującej wartości umieszczany był odpowiedni znak, np. „?”. Wówczas znak ten może być traktowany w ten sposób, iż w danym przykładzie w miejscu tego znaku umieszczane są kolejno wszystkie wartości z dziedziny określonej dla danej cechy.

3.1.3 Metody pozyskiwania wiedzy poprzez indukcję

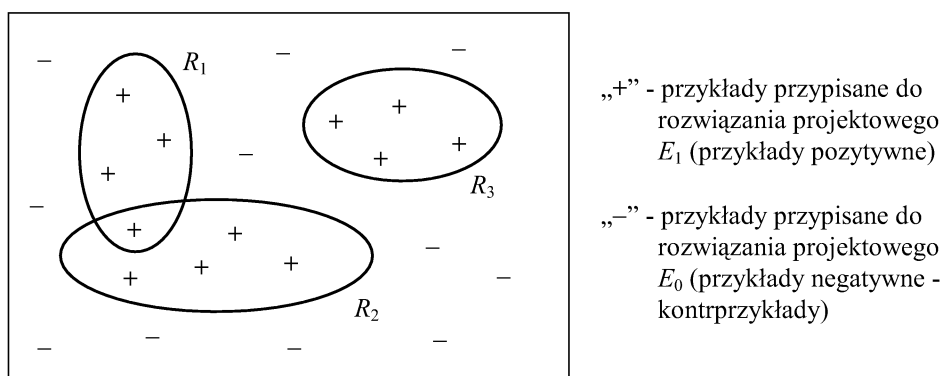
W ramach opisanych badań do pozyskiwania wiedzy zastosowano następujące metody „uczenia maszynowego”:

- indukcyjna metoda pozyskiwania wiedzy (umożliwiająca generowanie reguł) za pomocą pokryć według algorytmu A^q [Michalski, 1983],
- generowanie reguł z drzew decyzyjnych budowanych w sposób indukcyjny ([Quinlan, 1986], [Quinlan, 1993]),
- pozyskiwanie reguł i klasyfikatorów przybliżonych ([Pawlak, 1982], [Mrózek, 1993]).

Selektywna indukcja reguł poprzez generowanie pokryć

Algorytm umożliwia wyznaczenie reguł, które są optymalizowane zgodnie z kryteriami wybranymi przez użytkownika (np. uzyskanie reguł o jak najmniejszej liczbie warunków w części przesłankowej), i ma charakter iteracyjny. Podstawowym elementem algorytmu jest operacja generowania pokrycia $Cov(E_1 \setminus E_0)$ zbioru E_1 , którego elementami są przykłady

przypisane do jednego rozwiązania projektowego, z wyłączeniem przykładów ze zbioru E_0 . Rys. 7. przedstawia zbiory R_1 , R_2 i R_3 , które symbolizują wyznaczone pokrycia opisujące rozwiązania projektowe E_1 i jednocześnie nie opisujące rozwiązania E_0 .



Rys. 7. Przestrzeń przykładów pozytywnych i negatywnych analizowana według algorytmu A^q (na podstawie [Bolc, Zaremba, 1992])

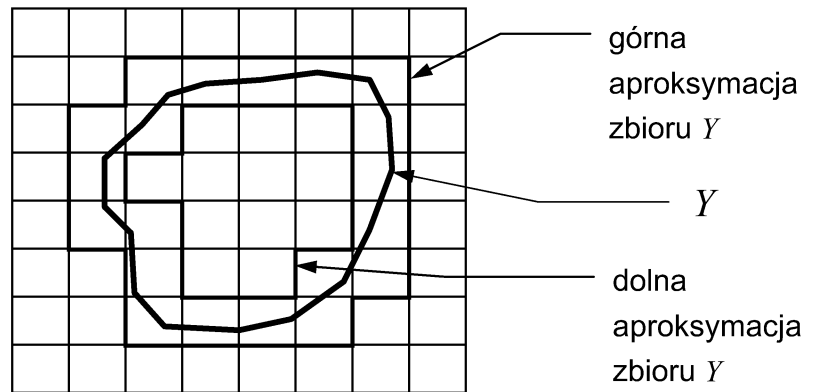
Dodatkowo w metodzie generowania pokryć możliwe jest użycie zbioru hipotez wstępnych, pozwalające na tak zwane uczenie przyrostowe ([Hong, Mozetic, Michalski, 1986], [Moczulski, 1997]). Reguły wstępne stosuje się w przypadku, jeśli:

- do danego rozwiązania projektowego przypisany jest tylko jeden przykład, wówczas na podstawie reguły wstępnej dla tego rozwiązania, generowane są wstępne (początkowe) pokrycia w trakcie uczenia,
- do danego rozwiązania projektowego nie przypisano żadnego przykładu, ale zapisano jedną lub więcej reguł wstępnych, wówczas ta reguła (reguły) traktowana jest jak przykład.

W dodatku A zamieszczono szczegółowy algorytm generowania reguł z zastosowaniem pokryć.

Indukcja reguł z zastosowaniem zbiorów przybliżonych

Zbiory przybliżone zostały wprowadzone przez Z. Pawlaka [Pawlak, 1982]. Są one środkiem umożliwiającym reprezentację wiedzy niedokładnej, niepewnej i nieprecyzyjnej. Zbiór przybliżony (ang. *rough set* [Pawlak, 1982]) określony jest jako para: dolna i górna aproksymacja danego zbioru (Rys. 8). Dolna aproksymacja zawiera wszystkie przykłady, które z całą pewnością należą do danego rozwiązania, natomiast górna aproksymacja zawiera wszystkie przykłady, które mogą prawdopodobnie należeć do danego rozwiązania. Punktem wyjścia do zastosowania metody zbiorów przybliżonych do indukcji reguł jest spostrzeżenie, że dane nieprecyzyjne (jak np. uzyskane w skutek kwantowania wartości cech) umożliwiają rozróżnianie rozwiązań projektowych [Moczulski, 1997a].



Rys. 8. Przykład dolnego i górnego przybliżenia zbioru w systemie informacyjnym S

Dzięki zastosowaniu zbiorów przybliżonych możliwe jest rozwiązanie takich istotnych problemów jak ([Nowicki, Słowiński, Stefanowski, 1992], cytowano za [Moczulski, 1997a]):

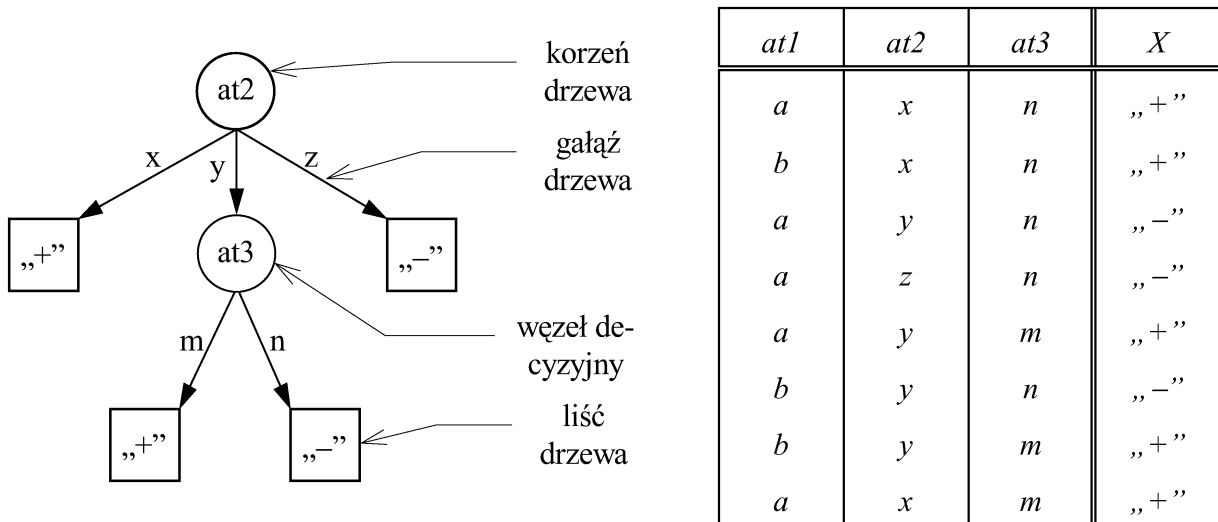
- zredukowanie liczby przykładów nadmiarowych oraz atrybutów nadmiarowych tak, aby można było uzyskać minimalny podzbiór atrybutów (zwany także *reduktem*),
- pozyskanie wiedzy, dotyczącej klasyfikacji przykładów, w postaci reguł.

Dodatek B zawiera szczegółowy algorytm generowania reguł z zastosowaniem zbiorów przybliżonych.

Indukcja drzew decyzyjnych

Przez drzewo decyzyjne rozumie się graf-drzewo (Rys. 9), którego każdy węzeł (wewnętrzny) odpowiada przeprowadzeniu pewnego testu na wartości cechy przyporządkowanej do tego węzła, zaś każdy liść określa przynależność do rozwiązania projektowego. Z węzła wewnętrznego wychodzi tyle gałęzi, ile jest możliwych wyników testu odpowiadającego temu węzłowi, a więc co najwyżej tyle, ile wartości ma cecha przypisana do tego węzła. Każdy z nich prowadzi do poddrzewa służącego do klasyfikacji tych przykładów, dla których wynik tego testu odpowiada wartości przypisanej do krawędzi, łączącej węzeł nadrzędny z rozpatrywanym poddrzewem. Klasyfikacja przykładu polega na przemierzeniu ścieżki od korzenia drzewa do jednego z liści, przez wykonanie w badanych kolejno węzłach odpowiednich testów i przemieszczanie się w dół wzdłuż gałęzi odpowiadających uzyskiwanym wynikom testów [Cichosz, 1997].

Zastosowanie drzewa decyzyjnego ułatwia proces generowania reguł. Przykłady są klasyfikowane na podstawie wartości ich cech zgodnie z kolejnością wynikającą ze struktury drzewa. Dodatek C zawiera szczegółowy algorytm indukcji drzew decyzyjnych oraz generowania reguł z tych drzew.



Rys. 9. Przykład drzewa decyzyjnego oraz odpowiadająca drzewu tabela z przykładami uczącymi (na podstawie [Michalski, Bratko, Kubat, 1997])

3.1.4 Stosowanie pozyskanej wiedzy do klasyfikowania nowych przykładów

Zbiór przykładów (zwanych uczącymi) stosowany jest do indukcji pewnej „porcji” wiedzy. Wiedza ta następnie podlega weryfikacji poprzez zastosowanie jej do klasyfikacji nowych przykładów (zwanych testowymi). „Nowe” przykłady nie służyły wcześniej do indukcji wiedzy. Dalszy opis odnosi się do przykładów, dla których znana jest wartość cechy decyzyjnej, określająca ich przyporządkowanie do jakiegoś rozwiązania projektowo-konstrukcyjnego (tak zwane uczenie z nauczycielem - zob. punkt 2.7.1).

Ogólnie możliwe są dwa rodzaje błędów klasyfikacji:

- przykład nie jest sklasyfikowany do właściwego rozwiązania projektowego, określanego wartością cechy decyzyjnej. Błąd ten nazywany jest błędem pominięcia (ang. *error of omission*),
- przykład klasyfikowany jest do niewłaściwego rozwiązania projektowego, innego niż określone przez wartość cechy decyzyjnej. Błąd ten nazywany jest błędem niesłusznego zaliczenia (ang. *error of commission*).

Analizując różne możliwości wystąpienia tych błędów, rozróżniono następujące przypadki [Grzymała-Busse, 1994]:

- 1) przykład jest klasyfikowany poprawnie do rozwiązania projektowego, do którego jest przypisany i nie jest klasyfikowany do żadnego innego rozwiązania projektowego,
- 2) przykład jest klasyfikowany poprawnie, lecz jednocześnie jest klasyfikowany do innego rozwiązania projektowego lub innych rozwiązań projektowych; jest to przypadek klasyfikacji wieloznacznej, często spotykanej w projektowaniu i konstruowaniu,

3) przykład nie jest klasyfikowany poprawnie do rozwiązania projektowego, do którego jest przypisany, lecz jest klasyfikowany do innego rozwiązania projektowego lub innych rozwiązań projektowych,

4) przykład nie jest klasyfikowany do żadnego rozwiązania projektowego.

W projektowaniu maszyn duże znaczenie ma klasyfikacja wieloznaczna (jak w punktach 2) i 3).

Przedstawiona analiza stanowić będzie w dalszej części pracy podstawę do określenia ocen błędu klasyfikacji dotyczących przypisania danego przykładu testowego do rozwiązania projektowego.

3.2 Pozyskiwanie wiedzy od specjalistów

Specjaliści odgrywają także bardzo ważną rolę w procesie pozyskiwania wiedzy. Rola ta polega m.in. na uczestnictwie w ocenie wiedzy już pozyskanej (zob. punkt 5.2.2). Wiedza pozyskana indukcyjnymi metodami „uczenia maszynowego” w każdym przypadku powinna być zweryfikowana przy zastosowaniu przykładów testowych. W opisywanych badaniach metoda pozyskiwania wiedzy i przykładów rozwiązań projektowych od specjalistów stanowiła uzupełnienie głównych badań i służyła głównie weryfikacji wiedzy pozyskanej indukcyjnie.

Podobnie jak dla potrzeb diagnostyki [Moczulski, 1994], istotę zastosowanej metody można przedstawić następująco:

- 1) źródłem wiedzy projektowej jest specjalista w danej dziedzinie zastosowań,
- 2) celem postępowania jest pozyskanie wiedzy przydatnej do projektowania wytworów,
- 3) samodzielne działanie specjalisty w dziedzinie zastosowań jest wspomagane prostym środkiem, a jego stosowanie nie wymaga żadnego przeszkolenia.

W związku z tym, że możliwe jest pozyskiwanie od specjalisty przykładów rozwiązań projektowych oraz wiedzy w postaci np. reguł, celowe staje się zastosowanie formularzy „papierowych” umożliwiających te zadania. Układ formularzy winien pomóc specjalście w ujawnieniu znanych mu przykładów zastosowań rozwiązań projektowych oraz reguł dotyczących tych rozwiązań z danej dziedziny. Posługiwanie się takimi formularzami nie wymaga od specjalisty żadnego uprzedniego przeszkolenia. Dodatkowo, oprócz elementów składowych zapisywanych przykładów i reguł, specjalista może umieszczać uzasadnienia oraz cytowania i referencje. Mają one znaczenie przy tworzeniu podsystemu objaśnień dla systemu doradczego.

Zapisy specjalisty są poddawane interpretacji przez dodatkową osobę (inżynier wiedzy). Z tego względu konieczna jest ocena „pierwotnych” reguł przez specjalistę, a następnie wprowadzenie ewentualnych zmian przez inżyniera wiedzy.

3.3 Podsumowanie dotyczące metod pozyskiwania wiedzy projektowej

W rozdziale przedstawiono dwie grupy metod pozyskiwania wiedzy projektowej: z zastosowaniem indukcyjnych metod „uczenia maszynowego” na podstawie zbioru przykładów rozwiązań projektowych oraz pozyskiwanie od specjalistów-projektantów. W przypadku pozyskiwania wiedzy na podstawie zbioru przykładów rozwiązań projektowych mogą być zastosowane trzy metody indukcyjne.

Do pozyskiwania wiedzy projektowej od specjalistów zaproponowano formularz „papierowy”. Formularz ten umożliwił pozyskanie od specjalisty przykładów rozwiązań projektowych, a także reguł dotyczących wyboru danego rozwiązania projektowego.

W opisywanych badaniach pozyskiwanie wiedzy odbywało się głównie poprzez zastosowanie metod indukcyjnych. Natomiast wiedza pozyskana od specjalisty posłużyła do weryfikacji wiedzy pozyskanej indukcyjnie.

4. METODY OCENY WIEDZY POZYSKANEJ ORAZ STOSOWANYCH ALGORYTMÓW

W rozdziale opisano zastosowane kryteria oceny klasyfikacji oraz algorytmów stosowanych do indukcyjnego „uczenia maszynowego”, sposoby porównywania wiedzy pozyskanej indukcyjnie oraz techniki testowania.

4.1 Sformalizowane sposoby oceny zawartości bazy wiedzy

Ocena bazy wiedzy może dotyczyć m.in. sprawdzenia tej bazy pod względem:

- merytorycznym,
- poprawności formalnej.

Opisane poniżej sposoby dotyczą oceny baz wiedzy pod względem merytorycznym. Przedmiotem oceny może być baza wiedzy pozyskanej indukcyjnie lub pochodzącej od specjalistów.

4.1.1 Kryteria oceny merytorycznej poprawności bazy wiedzy

Można wyróżnić kilka podstawowych rodzajów dostępnych danych, z których pozyskuje się pewną „porcję” wiedzy [Arciszewski, Dybala, Wnek, 1992]:

- 1) Dostępny jest kompletny zbiór przykładów. W tym przypadku można określić stosunek liczby poprawnie sklasyfikowanych przykładów do przykładów sklasyfikowanych błędnie.
- 2) Dostępna jest tylko część przykładów z obszernego zbioru. W tym przypadku można określić względne oceny błędu.

W pozyskiwaniu wiedzy projektowej najczęściej spotykany jest ostatni przypadek i dlatego jest najważniejszy z praktycznego punktu widzenia. Z tego powodu w niniejszej pracy zdecydowano się rozważać tylko względne oceny błędu. Rozróżnia się następujące względne oceny błędu:

- łączny błąd względny (ang. *overall empirical error rate*),
- względny błąd pominięcia (ang. *omission empirical error rate*) (statystyczny błąd I rodzaju),
- względny błąd niesłusznego zaliczenia (ang. *commission empirical error rate*) (statystyczny błąd II rodzaju).

Łączny błąd względny zdefiniowany jest jako:

$$\varepsilon_{ov} = \frac{|E^{(-)}|}{|E^{(t)}|} \quad (11)$$

gdzie:

$|E^{(-)}|$ - liczba błędnie sklasyfikowanych przykładów testowych,

$|E^{(0)}|$ - liczba przykładów testowych.

Względny błąd pominięcia zdefiniowany jest jako:

$$\varepsilon_{om} = \frac{\sum_{i=1}^{|X|} (\varepsilon_{om})_i}{|X|} \quad (12)$$

gdzie:

$|X|$ - liczba wartości cechy decyzyjnej (liczba rozróżnionych szczegółowych rozwiązań projektowych),

$$(\varepsilon_{om})_i = \frac{|E_i^{(-)}|}{|E_i|},$$

$|E_i^{(-)}|$ - liczba przykładów pozytywnych przypisanych do i -tego rozwiązania projektowego a sklasyfikowanych do innego rozwiązania projektowego,

$|E_i|$ - liczba przykładów pozytywnych przypisanych do i -tego rozwiązania projektowego.

Względny błąd niesłusznego zaliczenia zdefiniowany jest jako:

$$\varepsilon_{co} = \frac{\sum_{i=1}^{|X|} (\varepsilon_{co})_i}{|X|} \quad (13)$$

gdzie:

$$(\varepsilon_{co})_i = \sum_{j=1, j \neq i}^{|X|} \frac{|E_{j,i}^{(-)}|}{|E| - |E_i|},$$

$|E_{j,i}^{(-)}|$ - liczba przykładów przypisanych do j -tego rozwiązania projektowego a błędnie sklasyfikowanych do i -tego rozwiązania projektowego,

$|E|$ - liczba wszystkich przykładów uczących.

4.1.2 Dodatkowe kryteria oceny poprawności bazy wiedzy

W trakcie przeprowadzanych przez autora wielokrotnych analiz przykładowych baz wiedzy, zidentyfikował on kilka dodatkowych warunków mających wpływ na interpretację oraz zrozumienie reguł:

- 1) im więcej reguł wygenerowano dla danego rozwiązania projektowego, tym trudniej było zorientować się, jakie atrybuty wyróżniają dane rozwiązanie spośród innych rozwiązań projektowych,
- 2) dłuższe reguły o bardziej rozbudowanych przesłankach trudniej zrozumieć niż reguły o mniej rozbudowanych przesłankach,

- 3) im więcej atrybutów cech i wartości cech użytych w regule, tym trudniej zrozumieć te reguły,
- 4) im więcej atrybutów cech i wartości cech użytych w regule, tym mniej ogólne są te reguły,
- 5) im mniej przykładów zostało użytych do uogólnienia reguły, tym mniejszy stopień prawdziwości zastosowania danego rozwiązania projektowego zawartego w konkluzji reguły (przy przyjęciu, iż pominięty jest przypadek, że do danego rozwiązania przypisany jest tylko jeden przykład - wówczas stopień prawdziwości będzie równy 1),
- 6) jeśli podczas pozyskiwania wiedzy część przykładów została użyta więcej niż jeden raz do uogólnienia reguł (także o różnych wartościach cechy decyzyjnej), wówczas klasyfikacja przykładów może być wieloznaczna i mogą być osiągane wysokie błędy.

W procesie projektowo-konstrukcyjnym wiele razy dokonuje się wyboru spośród kilku rozwiązań spełniających określone kryteria i założenia. Z tego względu można uważać, że wielokrotne użycie tych samych przykładów (punkt 6.) do wygenerowania reguł identyfikujących różne rozwiązania projektowe nie jest błędem.

W celu porównania zawartości baz wiedzy uzyskanych z zastosowaniem różnych indukcyjnych metod „uczenia maszynowego”, autor wprowadził dodatkowe miary pozwalające ocenić te zawartości. Miary te w głównej mierze opierają się na liczbie przykładów rozwiązań projektowych oraz na liczbie reguł dotyczących zidentyfikowanych rozwiązań [Maniak, 1998].

Stopień uogólnienia wiedzy (κ) - oznacza stosunek liczby przykładów w zbiorze przykładów uczących do liczby reguł wygenerowanych na podstawie tego zbioru (zob. punkt 1 i 5):

$$\kappa = \frac{|E|}{|R|} \quad (14)$$

gdzie: $|E|$ - liczba przykładów w zbiorze przykładów uczących,

$|R|$ - liczba wyindukowanych reguł na podstawie przykładów uczących.

Im wyższa wartość κ , tym wiedza zawarta w zbiorze reguł jest ogólniejsza.

Średnie pokrycie (α) - wskazuje na to, ile przykładów zostało użytych do wygenerowania danej reguły (zob. punkt 5):

$$\alpha = \frac{\sum_{i=1}^{|R|} |E(r_i)|}{|R|} \quad (15)$$

gdzie: $|E(r_i)|$ - liczba przykładów użytych do wygenerowania reguły i -tej,

$|R|$ - liczba wyindukowanych reguł na podstawie przykładów uczących.

Im wyższa liczba α , tym więcej przykładów zostało użytych wielokrotnie do wygenerowania reguły o różnych konkluzjach.

Stopień nadmiarowości pokryć (θ) - wskazuje na to, ile przykładów zostało użytych wielokrotnie do generowania zbioru reguł (zob. punkt 1, 5, 6):

$$\theta = 1 - \frac{\kappa}{\alpha} \quad (16)$$

Im wartość θ jest bliższa 1, tym bardziej „porcja” wiedzy jest nadmiarowa. W szczególnym przypadku jeden przykład może być pokryty tylko przez jedną regułę, wówczas $\kappa = \alpha = 1$ a $\theta = 0$. Im więcej przykładów zostało pokrytych wielokrotnie, tym większa jest wartość α . Przy stałym κ wartość stopnia nadmiarowości pokryć $\theta \rightarrow 1$.

Stopień kompresji wiedzy (δ) - wskazuje na stosunek liczb wartości cech w przykładach do liczb wartości cech w regułach:

$$\delta = \frac{\sum_{i=1}^{|R|} |V(r_i)|}{\sum_{j=1}^{|E|} |V(e_j)|} \quad (17)$$

gdzie: $|V(r_i)|$ - liczba wartości cech w części przesłankowej i -tej reguły,

$|V(e_j)|$ - liczba wartości wszystkich cech w j -tym przykładzie.

Im δ jest bliższe 0, tym ogólniejsza jest „porcja” wiedzy i reguły są krótsze. Jeśli liczby wartości cech w przykładach i regułach są równe, wówczas $\delta = 1$. Jeśli $\delta > 1$, wówczas najprawdopodobniej należy zmodernizować (lub dodać) algorytm uogólniania reguł w zastosowanej metodzie „uczenia maszynowego”.

Złożoność reguły (λ) - oznacza stosunek liczby przesłanek w regułach do liczby reguł (zob. punkt 2):

$$\lambda = \frac{\sum_{i=1}^{|R|} |a^{(r_i)}|}{|R|} \quad (18)$$

gdzie: $|a^{(r_i)}|$ - liczba przesłanek w regule i -tej,

$|R|$ - liczba wyindukowanych reguł na podstawie zbioru przykładów.

Wyższe wartości miary złożoności reguły oznaczają występowanie wielu warunków w części przesłankowej reguły, co może utrudniać specjalistom zrozumienie tej reguły.

4.1.3 Podstawowe techniki oceny błędu klasyfikacji

Merytorycznej oceny bazy wiedzy dokonuje się poprzez określenie wartości estymatora łącznego błędu względnego klasyfikacji wg (11) w odniesieniu do odpowiedniego zbioru przykładów testowych, których przynależność do rozwiązań projektowych jest określona. Klasyfikacja polega na przypisaniu danemu przykładowi identyfikatora oznaczającego rozwiązanie projektowe. W opisywanych badaniach przyjęto, że ocena merytoryczna bazy wiedzy uzyskanej w sposób indukcyjny na podstawie zbioru przykładów uczących dokonywana jest za pomocą zbioru przykładów testowych, które nie były stosowane do pozyskiwania ocenianej „porcji” wiedzy.

Wyróżnić można dwa sposoby testowania zbiorów reguł, stosowane w przypadku, gdy:

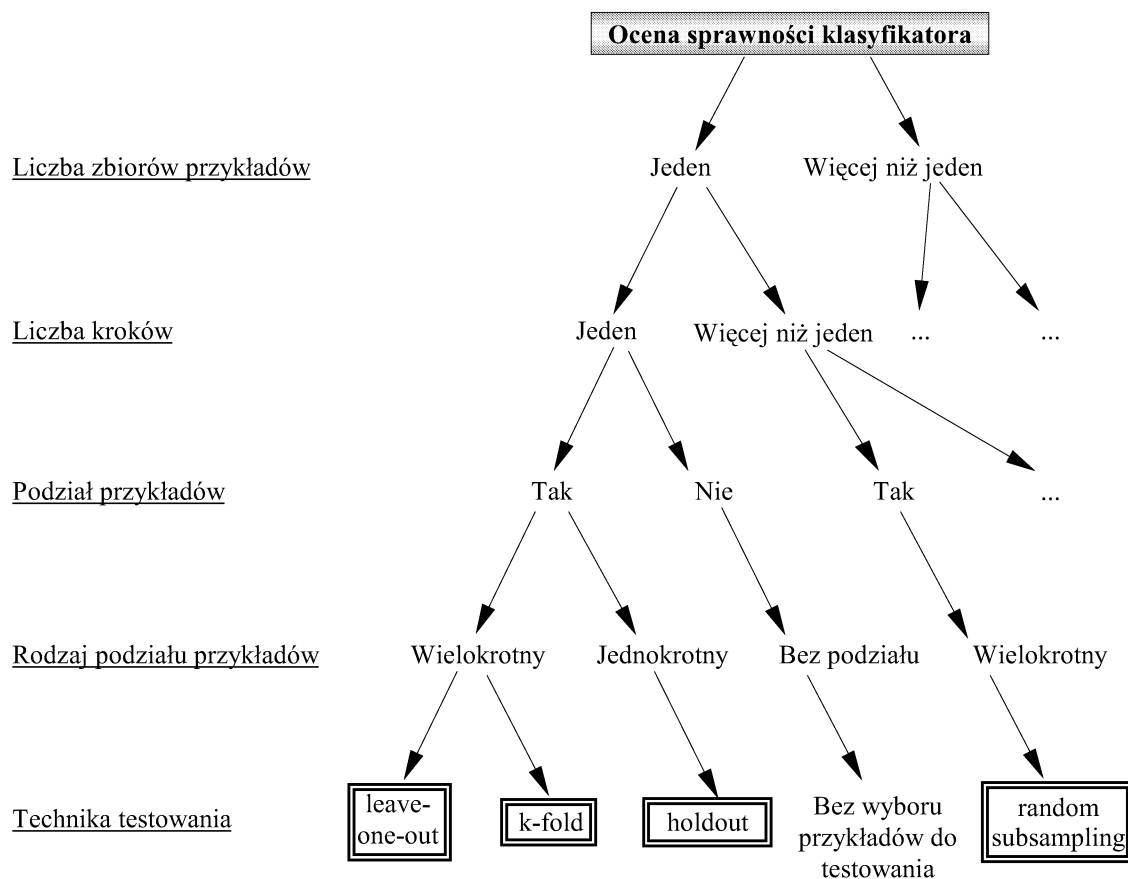
- dostępne są co najmniej dwa oddzielne zbiory: zbiór przykładów uczących, na podstawie którego dokonuje się generowania reguł, oraz dodatkowy zbiór przykładów testowych, które nie były stosowane do generowania reguł,
- dostępny jest jeden zbiór przykładów uczących, który jest odpowiednio dzielony na podzbiory przykładów uczących i testowych, a te z kolei służą do generowania reguł i ich testowania.

Ze względu na podział całego zbioru przykładów na podzbiory uczące i testowe, rozróżnia się techniki testowania z jednokrotnym lub wielokrotnym podziałem tego zbioru. W pierwszym przypadku dokonuje się jednokrotnego podziału dostępnego zbioru wszystkich przykładów. Taka technika testowania nazywa się *holdout*. W tej technice w większości wykonywanych testów przedstawionych w literaturze, 2/3 przykładów jest użytych do uczenia, a pozostała część do testowania. Wykonywany jest jeden test. Wspomniany podział zbioru przykładów w technice *holdout* został ustalony w trakcie wielu prób i jest on kompromisem pomiędzy czasem wykonywania testów a wpływem losowego wyboru części przykładów testowych na ocenę klasyfikacji tych przykładów.

Kiedy dokonuje się podziału przykładów, np. w powyższej proporcji, ale testowanie przeprowadzane jest więcej niż jeden raz, wówczas taka technika testowania nazywa się *random subsampling* (za każdym razem losowane są inne przykłady testowe).

Zależnie od sposobu wyboru przykładów można rozróżnić kolejne dwie techniki: technikę *leave-one-out cross-validation* oraz *k-fold cross-validation*. W technice *leave-one-out* testowanie wykonuje się kolejno na wszystkich przykładach. Ze zbioru dostępnych przykładów usuwany jest jeden przykład i traktowany jako testowy, a pozostała część przykładów jest użyta do uczenia. Wygenerowane reguły stosuje się do sklasyfikowania przykładu testowego. Uczenie jest wykonywane tyle razy, ile jest wszystkich dostępnych przykładów.

W technice *k-fold* zbiór wszystkich dostępnych przykładów jest losowo dzielony na *k* podzbiorów. Następnie z każdego podzbioru używa się $(100 - k) \%$ liczby przykładów do indukcji reguła, a $k \%$ liczby przykładów do testowania. Procedura powtarzana jest tyle razy, ile jest podzbiorów przykładów (*k*), a końcowa ocena błędu jest określana jako średnia z uzyskanych ocen błędu dla poszczególnych testów [Weiss, Kapouleas, 1989].



Rys. 10. Podział technik testowania (na podstawie [Arciszewski, Dybala, Wnek, 1992])

Tabela 5. Porównanie technik szacowania błędu klasyfikacji (na podstawie [Weiss, Kapouleas, 1989])

Liczba	<i>Holdout</i>	<i>Random Subsampling</i>	<i>Leave-One-Out</i>	<i>k-fold</i>
przykładów uczących	j	j	$ E - 1$	$(100 - k) \%$
przykładów testowych	$ E - j$	$ E - j$	1	$k \%$
iteracji	1	$IT \ll E $	$ E $	k

Rys. 10. przedstawia klasyfikację technik testowania ze względu na podział zbioru uczącego. Dla uproszczenia przedstawiono tylko jedną gałąź, ponieważ druga gałąź jest identyczna. Tabela 5. zawiera porównanie podstawowych cech opisanych technik oceny błędów względnych.

W opisywanych badaniach stosowano technikę *leave-one-out* ze względu na to, iż przy jej zastosowaniu łączny błąd względny jest obciążony najmniejszym błędem związanym z losowym wyborem przykładów testowych spośród przykładów uczących i nie zawiąza z tego powodu ocen błędów klasyfikacji.

4.1.4 Ocena merytoryczna za pomocą zbioru przykładów

W fazie wartościowania systemu doradczego często stosuje się ocenę merytoryczną bazy wiedzy za pomocą nowych przykładów testowych:

- 1) będących wynikiem analizy dokumentacji projektowo-konstrukcyjnej oraz fachowej literatury, które wcześniej nie były zastosowane do pozyskiwania wiedzy projektowej.
- 2) pochodzących od specjalisty-projektanta (innego niż ten, który dostarczył poprzednie przykłady),

Nowe przykłady rozwiązań projektowych mogą służyć jako przykłady testowe do weryfikacji wiedzy pozyskanej z zastosowaniem przykładów pochodzących z innych źródeł (np. z innych biur projektowych). Bardzo istotne znaczenie ma drugie źródło przykładów testowych, z którym wiąże się problem odpowiedniej ich reprezentacji. Jeśli przykłady zostały zapisane z użyciem innych atrybutów cech i ich wartości i/lub przy zastosowaniu innego sposobu kwantowania, muszą zostać przetworzone do postaci, w której zapisywane były wszystkie przykłady uczące.

4.2 Sposoby porównywania algorytmów

Poniżej opisano sposoby porównywania algorytmów, stanowiących podstawę pakietów programów do pozyskiwania wiedzy na podstawie przykładów.

4.2.1 Kryteria oceny przydatności algorytmów indukcyjnych

Aby umożliwić wybór metody „uczenia maszynowego”, której stosowanie byłoby optymalne ze względu na rozwiązywane zadanie projektowe o charakterze rutynowym, należy utworzyć odpowiedni układ kryteriów. Na uwagę zasługują następujące grupy kryteriów, które nie wyczerpują jednak wszystkich możliwości oceny przydatności metod „uczenia maszynowego” (na podstawie [Moczulski, 1997a]):

- 1) Poprawność merytoryczna zbiorów reguł pozyskanych na podstawie dostarczonych przykładów uczących, gdzie miarą poprawności jest łączny błąd klasyfikacji. Jest to podstawowe kryterium oceny klasyfikacji;
- 2) Złożoność obliczeń potrzebnych do wykonania w celu pozyskania danej „porcji” wiedzy. W wypadku zagadnień „statycznych”, jakim jest projektowanie, jego znaczenie jest drugoplanowe;
- 3) Łatwość generowania objaśnień w procesie wnioskowania (odpowiedzi na podstawowe pytania: *WHY?* i *HOW?*), bardzo istotna między innymi ze względu na problem odpowiedzialności za skutki działań, podejmowanych wskutek konsultacji z systemem doradczym [Cholewa, Pedrycz, 1987].

W celu bardziej szczegółowego porównania algorytmów indukcyjnych konieczne jest przyjęcie kolejnych kryteriów, jak:

- 1) mała wrażliwość (lub całkowity brak wrażliwości) algorytmów indukcyjnych na błędy klasyfikacji w przypadku wprowadzenia do zbioru danych błędnych wartości cech lub przykładu niesłusznie wstępnie sklasyfikowanego do jakiegoś rozwiązania,
- 2) odporność zastosowanych algorytmów indukcyjnych na zmianę kolejności atrybutów i przykładów w zbiorze uczącym,

W zależności od specyfiki rozwiązywanego zadania pozyskiwania wiedzy, kryteriom tym można przypisać różne wagi, umożliwiające wielokryterialny wybór odpowiedniej metody „uczenia maszynowego”. Przykłady oceny przydatności metod „uczenia maszynowego” przedstawiono m.in. w: [Maniak, 1996], [Maniak, 1997], [Moczulski *et al.*, 1997], [Maniak, 1998], [Maniak, 1999a].

Autor przyjął, że ocena klasyfikacji uzyskana z zastosowaniem kilku technik testowania oraz z użyciem wielu miar oceny tej sprawności jest podstawowym sposobem postępowania w takich badaniach. Zdaniem autora, najważniejszym zadaniem, jakie należy wykonać przed wspomnianym wyznaczeniem ocen klasyfikacji, jest ocena działania algorytmów. W tym przypadku celowe staje się wykonanie niezbędnych testów umożliwiających ocenę odporności tych algorytmów na zmiany w zbiorze uczącym przy nie zmienionym systemie informacyjnym.

Znaczenie problemu wyboru odpowiedniej metody „uczenia maszynowego” maleje wtedy, gdy wyniki otrzymane różnymi metodami mogą być reprezentowane w sposób, umożliwiający jednocześnie ich wykorzystanie w procesie wspomaganie projektowania.

4.2.2 Początkowy system informacyjny

Przed przeprowadzeniem badań wzmiankowanych w poprzednim rozdziale należy przyjąć początkowy system informacyjny. Tabela 6. przedstawia przyjęte wstępnie do badań przykładowe wartości funkcji ρ (zob. punkt 2.1.5), przy czym ostatnia kolumna tablicy zawiera wartości cechy decyzyjnej. Rozwiązanie projektowe x_1 opisuje jeden przykład

zastosowania, rozwiązanie projektowe x_2 opisują dwa przykłady zastosowania. Dla takiego systemu informacyjnego przeprowadza się pierwsze testy, oceniając błędy klasyfikacji (opis w rozdziale 4.1), a wyniki tych testów przyjmuje jako wzorcowe. Należy dodać, że przyjęta w początkowym systemie informacyjnym kolejność atrybutów została uzyskana w sposób przypadkowy, natomiast kolejność przykładów przypisanych do poszczególnych rozwiązań projektowych wynika z kolejności analizy i zapisu tych przykładów na podstawie dostępnych źródeł.

Tabela 6. Przykładowy początkowy system informacyjny

nr przykładu	a_1	a_2	a_3	X
1	V_1	V_3	V_5	x_1
2	V_1	V_2	V_5	x_2
3	V_4	V_3	V_2	x_2

W celu zbadania odporności algorytmów indukcyjnych na zmianę uporządkowania w systemie informacyjnym autor zaproponował wykonanie dwóch testów:

- 1) kolejności atrybutów,
- 2) kolejności przykładów.

Przedstawione testy można ze sobą połączyć, uzyskując możliwość wykonania dodatkowego testu.

- 3) test kolejności atrybutów i kolejności przykładów.

Testy kolejności polegały na zmianach kolejności atrybutów oraz przykładów, określonych przez uporządkowanie ich indeksów w sposób malejący, przy przyjęciu, że przed sortowaniem indeksy miały porządek rosnący. Dodać należy, iż uporządkowanie indeksów w sposób malejący dla poszczególnych testów zostało podyktowane przez łatwość przygotowania odpowiednich zbiorów uczących. Możliwe jest zastosowanie innego uporządkowania pod warunkiem, że kolejność indeksów będzie różniła się od początkowej. Wyniki uzyskane dla przeprowadzonych testów nie mogą więc być uważane za uniwersalne.

4.2.3 Test kolejności atrybutów

Test kolejności atrybutów polega na zmianie kolejności atrybutów, określonej przez uporządkowanie ich indeksów w porządku malejącym przy założeniu, że przed sortowaniem miały one porządek rosnący, i porównaniu uzyskanych miar klasyfikacji z początkowymi. Tabela 7. przedstawia przykładowy system informacyjny zastosowany do przeprowadzenia testu kolejności atrybutów.

Należy zwrócić uwagę na to, że zmieniany jest tylko porządek atrybutów, natomiast porządek wartości cechy decyzyjnej oraz przykładów nie zmienia się.

Tabela 7. Przykładowy system informacyjny zastosowany do testu kolejności atrybutów

nr przykładu	a_3	a_2	a_1	X
1	V_5	V_3	V_1	x_1
2	V_5	V_2	V_1	x_2
3	V_2	V_3	V_4	x_2

4.2.4 Test kolejności przykładów

Test kolejności przykładów polega na zmianie kolejności przykładów, określonej przez uporządkowanie ich indeksów w porządku malejącym przy przyjęciu, że przed sortowaniem miały one porządek rosnący, i porównaniu uzyskanych miar klasyfikacji z początkowymi. Tabela 8. przedstawia przykładowy system informacyjny zastosowany do przeprowadzenia testu kolejności przykładów.

Należy zwrócić uwagę na to, że zmianie ulega porządek wszystkich przykładów w zbiorze uczącym wraz z porządkiem przykładów o tych samych wartościach cechy decyzyjnej.

Tabela 8. Przykładowy system informacyjny zastosowany do testu kolejności przykładów

nr przykładu	a_1	a_2	a_3	X
3	V_4	V_3	V_2	x_2
2	V_1	V_2	V_5	x_2
1	V_1	V_3	V_5	x_1

4.3 Podsumowanie dotyczące metod oceny wiedzy pozyskanej oraz stosowanych algorytmów

W rozdziale opisano przyjęty układ kryteriów, jakim autor kierował się w trakcie badań porównawczych. Zdefiniowano miary (łączy błąd względny, względny błąd pominięcia, względny błąd niesłusznego zaliczenia), które będą stosowane do oceny wyników klasyfikacji. Autor zaproponował także dodatkowe miary umożliwiające bardziej szczegółową ocenę zbioru reguł (stopień uogólnienia wiedzy, średnie pokrycie, stopień nadmiarowości pokryć, stopień kompresji wiedzy, złożoność reguły). Na potrzeby badań przyjęto, iż testowanie zbiorów reguł zostanie wykonane techniką *leave-one-out*. Przyjęto także, iż w celu oceny algorytmów stosowanych przez indukcyjne metody „uczenia maszynowego” wykonać można odpowiednie testy według pomysłu autora.

5. ŚRODKI WSPOMAGANIA PROCESU POZYSKIWANIA WIEDZY PROJEKTOWEJ

W rozdziale opisano środki zastosowane do pozyskiwania wiedzy w sposób indukcyjny, opracowane środki wspomaganie procesu pozyskiwania przykładów i wiedzy projektowej od specjalisty-projektanta. Przedstawiono także środki programowe wspomagające weryfikację wiedzy już pozyskanej.

5.1 Pozyskiwanie wiedzy w sposób indukcyjny

W opisywanych badaniach bardzo istotną rolę spełniały środki programowe, wspomagające pozyskiwanie wiedzy w sposób indukcyjny. Zastosowane środki działały według metod tak zwanego „uczenia maszynowego”, opisanych w rozdziale 3.1.

Ze względu na współpracę Katedry Podstaw Konstrukcji Maszyn z ośrodkami mającymi duży dorobek w zakresie rozwoju metod i oprogramowania do indukcyjnego pozyskiwania wiedzy, możliwe było zastosowanie oprogramowania udostępnionego przez te ośrodki. Ponadto opracowano pakiet programów i aplikacji umożliwiających kwantowanie i kodowanie wartości cech ilościowych oraz przygotowanie przykładów uczących i testowych dla programów do pozyskiwania wiedzy metodami „uczenia maszynowego”.

5.1.1 Wybór atrybutów relewantnych

Do wyboru atrybutów relewantnych użyto programu *AQ17-HCI* [Wnek, 1993]. Wybór ten dokonywany jest zgodnie z algorytmem *PROMISE 2* opisanym w [Baim, 1982]. Dodatek D zawiera opis tego algorytmu.

5.1.2 Selektywna indukcja reguł

Do selektywnej indukcji reguł poprzez generowanie pokryć zastosowano program *AQ15c* [Wnek *et al.*, 1995]. Indukcji reguł dokonuje się zgodnie z algorytmem A^q , który opisany jest w dodatku A.

5.1.3 Indukcja reguł z zastosowaniem zbiorów przybliżonych

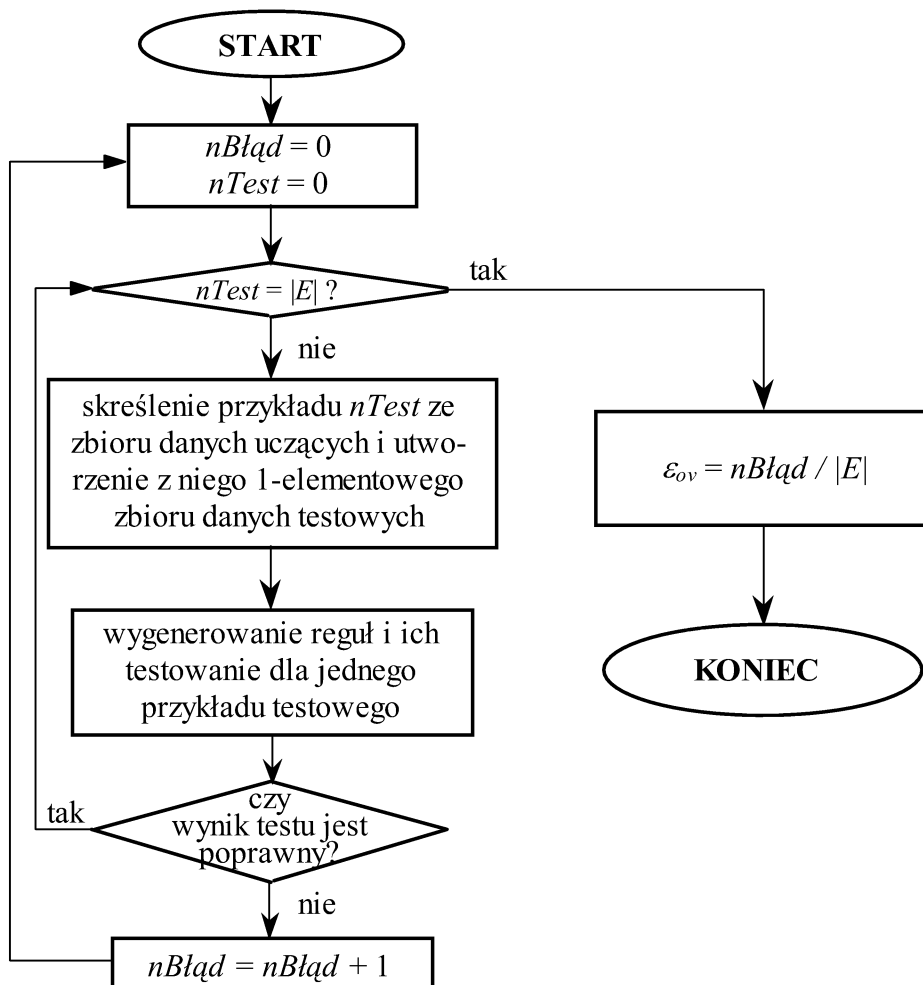
Do indukcji reguł z zastosowaniem zbiorów przybliżonych (opis tej metody zawiera dodatek B) zastosowano program *Rosetta* [Øhrn, Komorowski, Skowron, Synak, 1998]. Indukcja reguł była każdorazowo poprzedzana przez obliczenie reduktów zbioru atrybutów. Program *Rosetta* umożliwia zastosowanie kilku algorytmów obliczania reduktów i generowania zbiorów reguł. W wyniku wykonania wstępnych testów autor wybrał *algorytm Johnsona*, który umożliwiał wygenerowanie:

- najmniej licznego zbioru reguł,

- reguł o najkrótszych częściach przesłankowych
a także działających najszybciej.

5.1.4 Indukcja drzew decyzyjnych oraz generowanie reguł na podstawie drzew decyzyjnych

Do indukcji reguł na podstawie drzew decyzyjnych zastosowano program C4.5 [Quinlan, 1993]. Indukcji reguł na podstawie drzewa decyzyjnego dokonuje się zgodnie z algorytmem opisanym w dodatku C.



Rys. 11. Algorytm testowania reguł techniką *leave-one-out*
(na podstawie [Moczulski, 1995])

5.1.5 Ocena merytorycznej poprawności bazy wiedzy

Wszystkie programy stosowane do indukcji reguł i drzew decyzyjnych umożliwiają wyznaczenie oceny poprawności baz wiedzy co najmniej za pomocą łącznego względnego błędu empirycznego ε_{ov} według (11). Ponadto opracowano niezbędne programy, wspomagające stosowanie podstawowych technik oceny klasyfikacji (opis w punkcie 4.1.3). W ramach badań wyznaczono oceny wspomnianego błędu empirycznego ε_{ov} oraz względnych empirycznych błędów: pominięcia ε_{om} według (12) i niesłusznego zaliczenia ε_{co} według (13), a także miary zaproponowane przez autora według: (14), (15), (16), (17) oraz (18).

5.1.6 Oprogramowanie do wspomaganiania weryfikacji wiedzy pozyskanej

Jeśli zbiór przykładów zawiera więcej niż kilkadziesiąt przykładów, powoduje to trudności oraz znaczny wzrost czasu poświęconego na przygotowywanie przykładów uczących i testowych. Przygotowanie odpowiednich zbiorów (np. zgodnie z techniką *leave-one-out*) wiąże się z losowym wyborem podzbiorów przykładów testowych spośród zbioru przykładów uczących. Jeśli zbiór wszystkich przykładów jest obszerny, podczas podziału zbioru można łatwo się pomylić, np. wybierając do testowania przykłady, które już były wcześniej przykładami testowymi. W wielu przypadkach podział dużej liczby przykładów na podzbiory jest praktycznie niemożliwy bez zastosowania odpowiedniego środka wspomagającego przygotowanie takich zbiorów uczących i testowych. Z tego względu autor przygotował wiele programów pomocniczych znacznie skracających:

- 1) czas przygotowania odpowiednich zbiorów przykładów uczących i testowych,
- 2) czas testowania z zastosowaniem wybranej techniki wyboru zbiorów przykładów,
- 3) czas wykonania niezbędnych obliczeń związanych z wyznaczaniem ocen błędu klasyfikacji.

Rys. 11. przedstawia jeden z algorytmów zastosowany w badaniach. Program działający zgodnie z tym algorytmem „automatycznie” przygotowuje przykłady uczące oraz testowe i wykonuje testowanie zgodnie z techniką *leave-one-out*. Kończącym efektem działania programu jest podanie m.in.:

- liczby przykładów błędnie sklasyfikowanych,
- oceny błędu klasyfikacji,
- tabeli zawierającej klasyfikację wszystkich przykładów do poszczególnych rozwiązań projektowych (Rys. 12).

5.2 Pozyskiwanie wiedzy od specjalistów

W przeprowadzonych badaniach istotną rolę odegrało pozyskiwanie wiedzy od specjalistów-projektantów. Celem postępowania było pozyskanie nowej „porcji” wiedzy oraz przykładów rozwiązań projektowych, które posłużyły do weryfikacji wiedzy pozyskanej metodami indukcyjnymi. Kolejnym celem była ocena wiedzy pozyskanej indukcyjnie przez specjalistę z zastosowaniem odpowiedniej ankiety. Przy pozyskiwaniu wiedzy od wielu specjalistów można zauważyć, że [Boulanger, Smith, Hirt, 1997]:

- specjaliści stosują odmienną wiedzę w trakcie projektowania (zob. rozdział 2.8),
- specjaliści używają różnych priorytetów kryteriów decydujących o wyborze danego rozwiązania projektowego.

W celu wspomaganie pozyskiwania nowej „porcji” wiedzy autor opracował formularz „papierowy” umożliwiający pozyskanie wielu przykładów rozwiązań projektowych oraz reguł od różnych specjalistów, natomiast dla potrzeb weryfikacji wiedzy już pozyskanej, autor opracował odpowiednią ankietę.

```
. . . .
Liczba przykładów = 374.
- // - błędnie sklasyfikowanych = 52.
>>> Łączny błąd względny = 0.139 (13.90 %).
>>> Względny błąd pominięcia = 0.197 (19.67 %).
>>> Względny błąd niesłusznego zaliczenia = 0.089 (8.89 %).

*** Klasyfikacja przykładów do poszczególnych klas:

(0)      (1)      (2)      <- sklasyfikowany jako
-----  -----  -----
212      20       3        (0) kl: ustal/ustal
17       90       3        (1) kl: ustal/swob
5        4        20       (2) kl: swob/ustal

/|\
|
| <--- Błąd pominięcia   \|-> Błąd niesłusznego zaliczenia
```

Rys. 12. Wyniki klasyfikacji uzyskane z użyciem programu wspomagającego weryfikację reguł (źródło: program *AQI5c*)

5.2.1 Formularz „papierowy” do pozyskiwania nowej wiedzy

W ramach prowadzonych badań autor rozprawy opracował odpowiedni formularz „papierowy”. Daje on możliwość pozyskania reguł projektowania oraz umożliwia zapis przykładów rozwiązań projektowych z danej dziedziny. Przykłady te mogą być zastosowane do pozyskania nowej wiedzy lub do testowania wiedzy już pozyskanej. Tabela 9. przedstawia formularz „papierowy” do pozyskania reguł i przykładów dotyczących różnych rozwiązań projektowych. Przykłady i reguły zapisane przez specjalistę za pomocą omawianego formularza „papierowego” wymagają odpowiedniej interpretacji (przez inżyniera wiedzy) przed ich wprowadzeniem do bazy danych i wiedzy. Interpretacja ta obejmuje między innymi identyfikację [Moczulski, 1997a]:

- nazw (identyfikatorów) rozwiązań projektowych,
- atrybutów decydujących o zastosowaniu danego rozwiązania projektowego,
- ewentualnych przekształceń, jakim należy poddawać ilościowe wartości cech, aby otrzymać wartości jakościowe.

Ważne jest także udostępnienie treści reguł i przykładów, zinterpretowanych przez inżyniera wiedzy, do oceny specjalistę, który zapisał wyjściową regułę lub przykład.

5.2.2 Ankieta do oceny wiedzy już pozyskanej

Jak można często zauważyć, najłatwiej jest skłonić specjalistę do oceny wiedzy już pozyskanej, np. z innych źródeł. Aby jednak ocena taka była skuteczna, winny być spełnione następujące założenia [Moczulski, 1997a]:

- 1) zrozumiały dla oceniającego specjalisty-projektanta sposób reprezentacji wiedzy,
- 2) przedstawiona do oceny wiedza (np. reguły) zapisana jest w języku jak najbardziej zbliżonym do języka naturalnego,
- 3) zastosowanie mało skomplikowanego sposobu oceniania - wskazane jest np. stosowanie ocen jakościowych o niewielu stopniach,
- 4) ocenie podlega także zrozumiałość danej „porcji” wiedzy.

Powyższy układ kryteriów był podstawą do przygotowania rozwiązania, opisanego poniżej. W ramach tego rozwiązania przygotowano odpowiednie środki programowe, opisane w dalszej części rozdziału.

Ocenie poddaje się wiedzę, reprezentowaną w postaci reguł projektowania. Każda ocena dotyczy jednej reguły. Ocena ta jest stwierdzeniem, wyrażającym subiektywny stopień przekonania oceniającego specjalisty o słuszności reguły. Oceniający może także określić regułę jako niezrozumiałą, co pozwala wyznaczyć zbiór takich reguł, które trzeba poddać ponownej edycji.

Tabela 9. Formularz do pozyskania reguł oraz przykładów rozwiązań projektowych

Formularz do pozyskania reguł* / przykładów* / przykładów* dotyczących rozwiązań projektowych węzłów łożyskowych

Nr formularza	* niepotrzebne		Jak oceniasz tę regułę* / przykład* ?:		bardzo zła/zły		dobra/ dobry		bardzo dobra/y		?	
	skreślić		Jak często można spotkać to rozwiązanie ?:		bardzo zła/zły		dobry		bardzo często		?	
Lp	Nazwa cechy	Wartość cechy	bardzo mały	mały	średni	duży	bardzo duży	Do czego stosujesz tę regułę* / przykład* ?				
								(poniżej wpisz nazwę rozwiązania projektowego)				
1												
Cytowania, referencje:												
Data			Autor			Adres / tel. / e-mail						

Działania związane z ocenianiem wiedzy pozyskanej wcześniej można podzielić na następujące fazy:

- 1) przygotowanie materiałów do oceny (wydruk treści reguł, ankieta do rejestrowania ocen specjalisty),
- 2) właściwa ocena dokonana przez specjalistę (działającego samodzielnie),
- 3) wprowadzanie ocen specjalisty do bazy wiedzy przez inżyniera wiedzy oraz agregacja opinii z ocenami zapisanymi w bazie.

Do wspomagania działań wszystkich wymienionych powyżej uczestników procesu oceniania reguł zastosowano następujące środki programowe, działające według koncepcji W. Moczulskiego [Moczulski, 1997a]:

- generator raportów z bazy wiedzy, umożliwiający zapis reguł w sposób bardzo zbliżony do zapisu w języku naturalnym (Rys. 35. przedstawia fragment przykładowego raportu),
- ankieta ocen reguł, której kolejne wiersze zawierają identyfikatory ocenianych reguł, zaś kolumny odpowiadają wartościom oceny stopnia przekonania o słuszności reguł oraz ocenom zrozumiałości reguły i jej relewantności. Określenie oceny danej reguły polega na wstawieniu w wierszu zawierającym identyfikator ocenianej reguły, znaku „√” w odpowiedniej kolumnie.

Tabela 10. przedstawia zastosowaną w badaniach ankietę. W nawiasach zawarto liczbę punktów, na podstawie których wyznaczana będzie średnia liczba punktów otrzymanych przez reguły pozyskane z zastosowaniem metod indukcyjnych.

Tabela 10. Ankieta do oceny reguł przez specjalistę (na podstawie [Moczulski, 1997a])

Nr reguły	Zgadzam się (5)	Raczej się zgadzam (4)	Nie mam zdania (3)	Raczej się nie zgadzam (2)	Nie zgadzam się (1)	Nie rozumiem treści reguły (0)	Uwagi oceniającego
1.1							
1.2							
...							

5.2.3 Oprogramowanie do wspomaganie pozyskiwania wiedzy od specjalistów

W celu oceny „porcji” wiedzy za pomocą ankiety konieczne jest przygotowanie odpowiednich materiałów. Specjalna aplikacja generuje rodzaj raportu z bazy wiedzy. Raport zawiera reguły przeznaczone do oceny przez specjalistów oraz ankietę do umieszczania ocen poszczególnych reguł. Zapis reguł następuje w sposób możliwie najbardziej zbliżony do zapisu w języku naturalnym.

5.3 Podsumowanie dotyczące środków wspomaganie pozyskiwania wiedzy projektowej

W rozdziale opisano środki wspomaganie procesu pozyskiwania wiedzy metodami indukcyjnymi. Opisano środki umożliwiające wykonanie „automatycznego” testowania techniką *leave-one-out*, która to technika została przyjęta do badań porównawczych. Przedstawiono także środki wspomaganie pozyskiwania wiedzy od specjalistów z zastosowaniem opracowanego przez autora formularza „papierowego”. Do oceny wiedzy już pozyskanej zastosowano pakiet programów przygotowujących raporty z baz wiedzy oraz specjalną ankietę.

W zakresie indukcyjnego pozyskiwania wiedzy na podstawie przykładów konieczny jest rozwój oprogramowania wspomagającego wybór istotnych atrybutów, sposobów kwantowania wartości cech itp. Wymagana jest także budowa środków programowych umożliwiających połączenie zalet programów przedstawionych w punktach 5.1.2, 5.1.3 oraz 5.1.4, działających zgodnie z opisanymi w dodatkach A, B i C metodami.

6. BADANIA PORÓWNAWCZE METOD POZYSKIWANIA WIEDZY

W rozdziale przedstawiono program oraz plan badań. Dokonano wyboru zadania projektowego oraz opisano je. Następnie określono dziedzinę zastosowania, a także przedstawiono sposób przygotowania przykładów. Końcowa część rozdziału zawiera wyniki przeprowadzonych badań porównawczych oraz dyskusję tych wyników.

6.1 Wybór zadania projektowo-konstrukcyjnego do badań porównawczych

W Katedrze Podstaw Konstrukcji Maszyn Politechniki Śląskiej od dłuższego czasu prowadzone są badania nad zastosowaniem metod uczenia maszynowego do pozyskiwania i weryfikacji wiedzy projektowej. Prace te zostały zapoczątkowane przez W. Moczulskiego, opiekuna prac dyplomowych autora [Maniak, 1995] oraz M. Wyleżoła [Wyleżoła, 1996].

Jak pisano wcześniej (zob. rozdział 2.8), istnieje potrzeba zastosowania metod indukcyjnych do pozyskiwania wiedzy z zakresu projektowania węzłów łożyskowych. Podczas projektowania wyniki pracy gromadzone są w postaci dokumentacji projektowo-konstrukcyjnej. Jest także wiele publikacji dotyczących poprawnego projektowania i konstruowania wspomnianych węzłów, można również skorzystać z wiedzy i doświadczenia licznych specjalistów w tej dziedzinie. Niemniej jednak, aby skutecznie pozyskać obszerną wiedzę zawartą w wymienionych wcześniej źródłach, uwzględniając specyfikę biur projektowych, wiedzę i doświadczenie specjalistów czy rację możliwości wytwórczych zakładów produkcyjnych, celowe jest zastosowanie metod i środków, przyspieszających pozyskanie i weryfikację tej wiedzy. Z tego względu autor postanowił przeprowadzić badania porównawcze indukcyjnych metod „uczenia maszynowego” dla dziedziny projektowania węzłów łożyskowych.

6.2 Program badań

Podczas pozyskiwania wiedzy dotyczącej różnych rozwiązań projektowych z dokumentacji projektowo-konstrukcyjnej oraz fachowej literatury, szczegółowy program badań obejmował:

- 1) Nawiązanie współpracy z biurami projektowymi zajmującymi się projektowaniem i konstruowaniem maszyn, w których wyodrębnić można elementy łożyskowania tocznego, w celu uzyskania dostępu do dokumentacji projektowo-konstrukcyjnej.
- 2) Analizę zgromadzonej dokumentacji projektowo-konstrukcyjnej oraz fachowej literatury w celu identyfikacji przykładów rozwiązań dla poszczególnych podzadań projektowania węzłów łożyskowych.
- 3) Wyodrębnienie zbiorów atrybutów i wartości decydujących o wyborze danego rozwiązania projektowego.

- 4) Konsultacje ze specjalistami na temat poprawności przyjętych zbiorów atrybutów i wartości oraz sposobu kwantowania tych wartości.
- 5) Indukcję reguł z zastosowaniem środków przedstawionych w rozdziale 5.1.
- 6) Wykonanie testów klasyfikacji zgodnie z techniką *leave-one-out* z zastosowaniem odpowiednich miar ocen opisanych w rozdziale 4.1.
- 7) Ocenę przez specjalistów-projektantów wiedzy pozyskanej za pomocą wybranych indukcyjnych metod „uczenia maszynowego”.
- 8) Wykonanie testów kolejności atrybutów oraz przykładów przedstawionych w punktach 4.2.3 oraz 4.2.4.

Wstępną próbę porównania indukcyjnych metod „uczenia maszynowego” z uwzględnieniem wielu kryteriów oraz metody punktacji podwójnej [Dietrych, 1987] przedstawiono w [Maniak, 1997]. Metoda ta polega na nadawaniu ocen wyszczególnionym kryteriom, względem których czyniona jest ocena oraz na przypisaniu poszczególnym kryteriom liczb znaczenia (wag ważności kryteriów). Na tej podstawie uzyskano sumaryczne oceny ułatwiające wybór indukcyjnej metody „uczenia maszynowego” mogącej znaleźć zastosowanie do pozyskiwania wiedzy projektowej.

W przypadku pozyskiwania wiedzy dotyczącej różnych rozwiązań projektowych od specjalistów należało rozwiązać następujące zadania:

- 1) Pozyskanie od specjalistów-projektantów przykładów zastosowań rozwiązań projektowych, z zastosowaniem formularza „papierowego”.
- 2) Pozyskanie od specjalistów-projektantów reguł projektowych dotyczących wybranego zagadnienia, z zastosowaniem formularza „papierowego”.
- 3) Konsultacje ze specjalistami na temat przyjętych przez nich atrybutów i wartości.

6.3 Plan badań

Szczegółowy plan badań opracowany przez autora obejmował (Tabela 11):

- 1) dla wszystkich wyszczególnionych podzadań projektowych oraz dla wybranych do badań programów przeprowadzenie testowania zbiorów reguł techniką *leave-one-out* oraz wyznaczenie odpowiednich ocen klasyfikacji:
 - a) dla początkowego systemu informacyjnego,
 - b) dla systemu informacyjnego przygotowanego dla potrzeb testu kolejności atrybutów,
 - c) dla systemu informacyjnego przygotowanego dla potrzeb testu kolejności przykładów,

- 2) dla wszystkich wyszczególnionych podzadań projektowych oraz dla wybranych do badań programów: sklasyfikowanie przykładów testowych pochodzących od specjalisty,
- 3) dla wszystkich wyszczególnionych podzadań projektowych oraz dla programu *AQ15c*: wykonanie testowania techniką *leave-one-out* wraz z zastosowaniem reguł wstępnych pozyskanych od specjalisty.
- 4) zgromadzenie w formie tabelarycznej uzyskanych wyników oceny klasyfikacji,
- 5) przedstawienie za pomocą wykresów najważniejszych miar oceny w celu porównania zastosowanych programów indukcyjnych,
- 6) porównanie i analizę uzyskanych wyników.

Tabela 11. Przyjęty plan badań

Zastosowane programy	Zadania projektowe			
	Dobór układu łożyskowania	Dobór rodzaju łożyska	Dobór sposobu ustalenia łożyska w kierunku osiowym	Dobór uszczelnienia
<i>AQ15c</i>	Badanie 1	Badanie 1	Badanie 1	Badanie 1
<i>C4.5</i>	Badanie 2	Badanie 2	Badanie 2	Badanie 2
<i>Rosetta</i>	Badanie 2	Badanie 2	Badanie 2	Badanie 2

gdzie: Badanie 1 = (punkt 1a) + (punkt 1b) + (punkt 1c) + (punkt 2) + (punkt 3),
 Badanie 2 = Badanie 1 - (punkt 3).

Łącznie wykonano $4 \times 5 + 2 \times 4 \times 4 = 52$ testy główne nie uwzględniając testów pośrednich przeprowadzonych w celu wyboru optymalnego zbioru atrybutów i wartości a także zidentyfikowania błędów w zbiorach przykładów uczących.

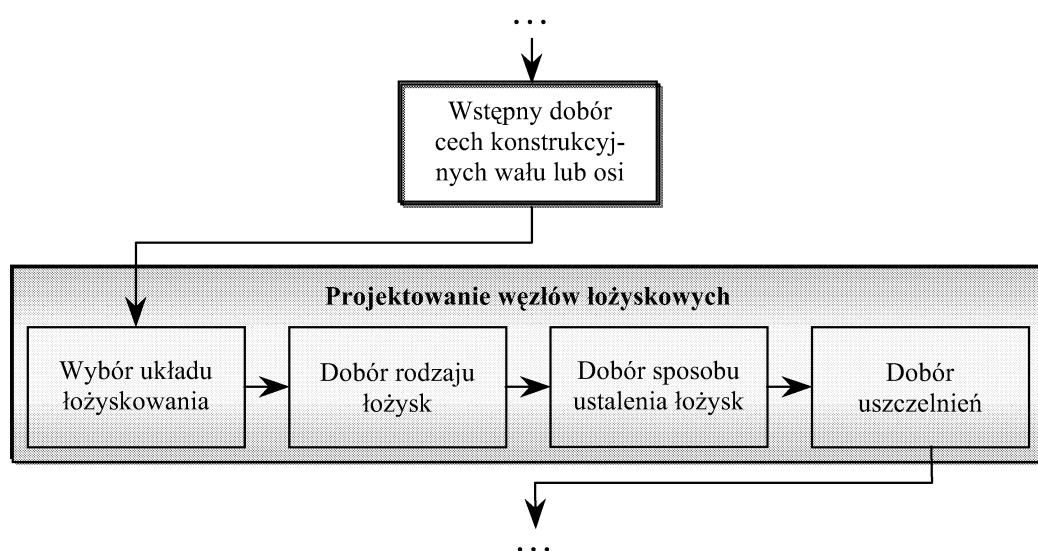
6.4 Opis zadania projektowo-konstrukcyjnego i podzadań

W większości przypadków węzły łożyskowe są krytycznym miejscem decydującym o końcowej niezawodności całej maszyny. Z tego względu należy bardzo szczegółowo analizować każde zadanie łożyskowania oraz uwzględniać wiele czynników decydujących o prawidłowym doborze poszczególnych elementów węzła łożyskowego.

Rys. 13. przedstawia typową kolejność wykonywanych kroków podczas projektowania takich węzłów. Pomędzy poszczególnymi krokami występują pewne zależności. W tym przypadku wyniki z poprzedniego kroku są stosowane jako dane w kroku

(krokach) kolejnym. W celu przeprowadzenia badań, autor postanowił rozpatrywać każde zadanie projektowe dotyczące projektowania węzłów łożyskowych oddzielnie i dla każdego zadania przeprowadzić osobne badania porównawcze. W zadaniu projektowania węzłów łożyskowych wyróżnić można zadania doboru:

- układu łożyskowania,
- rodzaju łożyska,
- sposobu ustalenia łożyska w kierunku osiowym,
- rodzaju uszczelnień.



Rys. 13. Typowa kolejność postępowania podczas projektowania węzłów łożyskowych

6.4.1 Wybór układu łożyskowania

Projektowanie układu łożyskowego przebiega na ogół w kilku etapach, w trakcie których wykonuje się następujące operacje [Krzemiński-Freda, 1989]:

- na podstawie charakteru obciążenia określa się role podpór wału lub osi i zamontowanych w tych podporach łożysk,
- biorąc pod uwagę założenia projektowe dobiera się rodzaj (rodzaje) łożysk oraz na podstawie wyników obliczeń wytrzymałościowych ustala się dokładne wymiary łożysk(a).

Układ obciążony może być siłami promieniowymi oraz wypadkową siłą osiową lub też tylko siłami promieniowymi. W przypadku obciążenia siłami promieniowymi i siłą osiową w określonym kierunku stosuje się układ „łożysko swobodne / łożysko ustalające”. Na ogół zmierza się do jednakowej lub zbliżonej średnicy zewnętrznej łożysk, co ułatwia wykonanie

opraw i uzyskanie odpowiedniej dokładności przy małym koszcie. Dąży się także do obciążenia siłą osiową łożyska przejmującego mniejsze obciążenia promieniowe.

W przypadku obciążenia tylko siłami promieniowymi lub niewielkimi siłami osiowymi zastosować można układ „łożysko swobodne / łożysko swobodne”. Układ taki często stosuje się np. w przekładniach zębatych o zębach daszkowych, gdzie położenie osiowe wału jest ustalane w wyniku współpracy pary kół zębatych.

W przypadku obciążenia siłami promieniowymi oraz dużymi siłami osiowymi lub gdy siła osiowa zmienia swój kierunek, stosuje się układ łożysk ustalających.

6.4.2 Dobór rodzaju łożyska tocznego

Dobór odpowiedniego rodzaju łożyska tocznego polega na:

- obliczeniu nośności ruchowej (lub nośności spoczynkowej łożyska wolnobieżnego lub mającego wykonywać powolne ruchy wahadłowe),
- wyborze rodzaju łożyska - projektant bierze pod uwagę wpraw jego trwałość, rodzaj i kierunek obciążenia, prędkość obrotową, a także czy to łożysko będzie wymagało w przyszłości obsługi, np. okresowej regulacji luzów,
- wybraniu z tablic katalogu łożysk tocznych o takich wymiarach, aby podana w tablicy dla tego łożyska wartość nośności ruchowej lub nośności spoczynkowej była co najmniej równa obliczonej i aby dopuszczalna prędkość obrotowa wybranego łożyska była nie niższa od wymaganej.

6.4.3 Dobór sposobu ustalenia łożysk w kierunku osiowym

W trakcie doboru elementów ustalających łożyska w kierunku osiowym decydujące znaczenie ma rola, jaką spełni dane łożysko (swobodne lub ustalające - zob. punkt 6.4.1) oraz który przypadek wirowania obciążenia wystąpi: obciążenie wirujące wraz z pierścieniem wewnętrznym łożyska czy wraz z pierścieniem zewnętrznym łożyska. Cechami dodatkowymi warunkującymi dobór sposobu ustalenia łożyska w kierunku osiowym mogą być: rodzaj łożyska oraz względne obciążenie osiowe. Należy zwrócić uwagę także na fakt ewentualnego ograniczenia miejsca ze względu na zastosowanie elementów ustalających łożysko.

6.4.4 Dobór rodzaju uszczelnień wału

Rozwiązanie problemu uszczelnienia nie jest zadaniem łatwym. Od rodzaju uszczelnienia i jego konstrukcji zależy trwałość i niezawodność łożyskowania oraz całego układu napędowego. Dobór odpowiedniego rodzaju uszczelnienia polega na:

- obliczeniu prędkości obwodowej na styku wał - uszczelnienie,

- identyfikacji warunków atmosferycznych takich jak działanie wody, zanieczyszczenie powietrza w sytuacji, gdy uszczelnienie głównie ma chronić łożysko przed wnikaniem zanieczyszczeń,
- sprawdzeniu rodzaju środka smarnego w sytuacji, gdy uszczelnienie ma chronić przed ubytkiem tego środka smarnego,
- sprawdzeniu ugięć wału w celu doboru uszczelnienia podatnego na odkształcenia,
- oszacowaniu temperatur pracy łożysk w celu doboru uszczelnienia odpornego na graniczne wartości temperatur.

6.5 Sposób przygotowania zbiorów przykładów

W rozdziale scharakteryzowano źródła przykładów niezbędnych do pozyskiwania wiedzy, opisano wybrane wartości cech decyzyjnych oraz wybrane atrybuty. Wyjaśniono sposób kwantowania i kodowania wartości cech, a także opisano sposób reprezentacji wiedzy. Kompletne zbiory przykładów uczących zawarto w załącznikach do rozprawy doktorskiej.

6.5.1 Źródła przykładów

W celu identyfikacji odpowiedniej „porcji” wiedzy projektowej konieczne jest zgromadzenie przykładów zastosowań wybranych elementów maszyn. Autor w swoich badaniach zastosował następujące źródła przykładów (zob. punkt 2.7.1):

- dokumentacja projektowo-konstrukcyjna,
- fachowa literatura,
- specjaliści-projektanci.

W dokumentacji projektowo-konstrukcyjnej zawarte są wyniki niezbędnych obliczeń do danego projektu. Wśród tych zapisów przebiegu obliczeń inżynierskich wyróżnić można następujące charakterystyczne elementy ([Johansson, Edlund, 1996], [Johansson, Edlund, 1997]):

- 1) obliczenia matematyczne za pomocą odpowiednich wzorów i funkcji z użyciem wartości zmiennych (zależnych i niezależnych),
- 2) tekst w postaci nagłówek i komentarzy,
- 3) szkice i schematy ułatwiające projektantom wykonanie obliczeń.

Zadaniem autora była analiza zgromadzonej dokumentacji i wyników obliczeń opracowanych przez projektanta. Zgromadzone na podstawie tej analizy dane ilościowe i jakościowe posłużyły następnie do pozyskiwania wiedzy projektowej.

Pozyskanie odpowiedniej dokumentacji okazało się zadaniem, które sprawiło autorowi największą trudności. Obecnie biura projektowe chronią swój twórczy dorobek łącznie z archiwalną dokumentacją sprzed kilkudziesięciu lat, gdyż jest to warunkiem utrzymania wypracowanej pozycji w dziedzinie, którą zajmuje się dane biuro. Gdy dane biuro projektowe postanowiło udostępnić odpowiednią dokumentację, napotymano na kolejną przeszkodę wynikającą z braku czasu, jaki pracownicy danego biura mogli poświęcić autorowi na poszukiwanie wybranej dokumentacji w archiwum. W związku z tym na nawiązanie współpracy z biurami projektowo-konstrukcyjnymi oraz pozyskanie odpowiedniej dokumentacji autor poświęcił znacznie więcej czasu niż pierwotnie zaplanował. Te same trudności spowodowały, iż zgromadzenie wcześniej ustalonej liczby pozyskanych przykładów rozwiązań projektowych było praktycznie niemożliwe.

W związku z tym postanowiono pozyskać przykłady rozwiązań projektowych także z innych źródeł. Korzystając z fachowej literatury (poradników, katalogów), pozyskano wiele przykładów rozwiązań, dotyczących projektowania węzłów łożyskowych. Rys. 14. pochodzący z [FAG] przedstawia przykład łożyskowania wału mimośrodowego oraz sposób pozyskania i zapis wartości cech ilościowych w bazie danych. Rys. 15. przedstawia fragment udostępnionej autorowi dokumentacji projektowo-konstrukcyjnej, pochodzącej z Biura Projektów i Dostaw Hutniczych *HpH* S.A. Bytom, dotyczącej łożyskowania wału prostarki do blach. Pokazane na rysunkach strzałki określają sposób interpretacji zapisów wyników obliczeń i komentarzy do tych obliczeń oraz sposób identyfikacji szczegółowych rozwiązań projektowych, które były niezbędne do zapisu wartości cech w bazie danych.

Aby zastosować indukcyjne metody „uczenia maszynowego” do pozyskiwania wiedzy, konieczne jest przygotowanie odpowiednio licznego zbioru przykładów uczących. Proces przygotowania przykładów rozwiązań rutynowych na podstawie dokumentacji projektowej oraz fachowej literatury składa się z następujących etapów [Maniak, 1999]:

- 1) identyfikacja problemów projektowych jakie można wyróżnić analizując dane rozwiązania projektowe, np. w rozwiązaniu projektowym obrabiarki można wyróżnić zadania doboru sprzęgieł, łożysk tocznych, elementów ustalających łożyska w kierunku osiowym, uszczelnienia i inne,
- 2) identyfikacja rodzajów elementów maszyny; należy tutaj zwrócić uwagę na liczbę rozróżnionych rodzajów elementów - zbyt duża liczba rodzajów rozróżnianych elementów powoduje błędy klasyfikacji elementów o zbliżonych atrybutach (o podobnym rozwiązaniu projektowym),
- 3) identyfikacja cech konstrukcyjnych, które będą opisywały pole możliwych rozwiązań (identyfikacja atrybutów warunkujących dobór określonego rodzaju elementu maszyny); należy zwrócić uwagę na zależności pomiędzy różnymi atrybutami cech, np. z dwóch atrybutów „wartość obciążenia promieniowego łożyska” oraz „wartość obciążenia osiowego łożyska” można utworzyć kolejny atrybut - „udział obciążenia osiowego w obciążeniu całkowitym”. Atrybut ten jest bardzo często stosowany podczas doboru rodzaju łożyska tocznego,

- 4) analiza wartości liczbowych zidentyfikowanych wcześniej cech w celu określenia progów kwantowania oraz sposobu kwantowania tych wartości; na podstawie zgromadzonych w bazie przykładów rozwiązań projektowych należy sprawdzić rozkład wartości liczbowych (dla wszystkich cech) w poszczególnych przedziałach kwantowania (zob. punkt 6.5.4),
- 5) kwantowanie i kodowanie wartości cech; spowoduje to, że utworzona baza wiedzy będzie bardziej ogólna [Moczulski, 1997a] oraz uniknie się reguł zbyt dopasowanych do zbioru przykładów uczących,
- 6) indukcja reguł z zastosowaniem indukcyjnych metod „uczenia maszynowego” oraz ich weryfikacja,
- 7) porównanie wyników działania środków programowych, w których zastosowano metody indukcyjne,
- 8) powtórzenie kroków 2 ÷ 7 w razie stwierdzenia zbyt dużej liczby błędów klasyfikacji przykładów testowych; powtórzenie kroków 2 ÷ 5 wymaga zmiany liczby szczegółowych rozwiązań projektowych, liczby cech i liczby ich wartości, sposobu kwantowania, w tym zmiany liczby progów kwantowania i wartości tych progów; zmian tych należy dokonywać osobno lub tworząc odpowiednie kombinacje, zależnie od kolejnych wyników badań porównawczych,
- 9) weryfikacja reguł przez specjalistów-projektantów.

Przykłady rozwiązań projektowych oraz reguły projektowania pozyskano od specjalistów stosując formularz „papierowy”. Tabela 12. zawiera przykład zapisu rozwiązania projektowego. Przykłady tych rozwiązań posłużą jako przykłady testowe weryfikujące reguły pozyskane metodami indukcyjnymi. Tabela 13. zawiera przykład zapisu reguły projektowania. Pozyskane od specjalisty reguły posłużą jako reguły wstępne do tzw. „uczenia przyrostowego” (zob. punkt 2.7.2 oraz dodatek A).

6.5.2 Wybór wartości cech decyzyjnych

Dla każdego z wyodrębnionych podzadań projektowania węzłów łożyskowych (zob. rozdział 6.1) wyszczególniono odpowiednie cząstkowe rozwiązania projektowe. Były one identyfikowane przez wartości cechy decyzyjnej. Rozwiązania te są w wielu przypadkach opisane w dostępnej fachowej literaturze. W dokumentacji projektowo-konstrukcyjnej często brak jest takich opisów. Rozwiązania, których nie napotkano w przedstawionych źródłach nie zostały uwzględnione w poniższych wykazach i w badaniach.

W trakcie przeprowadzonych przez autora eksperymentów numerycznych dokonywano wielokrotnej zmiany liczby wyodrębnionych wartości cech decyzyjnych. Zmiany te, z uwzględnieniem kryterium minimalizacji błędów klasyfikacji, powodowały w kilku

108 Przesiewacz o kołowym ruchu drgającym

Ciężar skrzyni przesiewacza z sitami $G = 35 \text{ kN}$, promień drgań $r = 0,3 \text{ cm}$, prędkość obrotowa $n = 1200 \text{ min}^{-1}$, liczba łożysk $z = 2$, przyspieszenie ziemskie $g = 981 \text{ cm/s}^2$

Dobór wielkości łożyska

Wibratory pracują przy znacznie przekroczzonej krytycznej prędkości obrotowej, wobec czego środek ciężkości skrzyni przesiewacza i środek ciężkości niewyważonych mas wibratora obracają się dookoła nowej osi odległej o promień drgań r od osi obrotu wału. Obciążenie łożyska od sił masowych skrzyni przesiewacza wynosi zatem:

$$F_r = \frac{1}{z} \cdot \frac{G}{g} \cdot r \cdot \left(\frac{\pi \cdot n}{30} \right)^2 = \frac{1}{2} \cdot \frac{35}{981} \cdot 0,3 \cdot \left(\frac{\pi \cdot 1200}{30} \right)^2 = 84,5 \text{ kN}$$

Z uwagi na niekorzystne warunki obciążeń dynamicznych obciążenie łożyska należy zwiększyć mnożąc je przez współczynnik nadwyżki dynamicznej $f_d = 1,2$; zastępcze obciążenie ruchowe wynosi więc:

$$P = 1,2 \cdot F_r = 101 \text{ kN}$$

Przyjmując współczynnik czasu pracy $f_L = 2,72$ ($L_n = 14000 \text{ h}$) i współczynnik prędkości obrotowej $f_n = 0,34$ (dla $n = 1200 \text{ min}^{-1}$) obliczyć można wymaganą nośność ruchową C ze wzoru:

$$C = \frac{f_L}{f_n} \cdot P = 808 \text{ kN}$$

Współczynnik czasu pracy f_L w przypadku przesiewaczy wibracyjnych przyjmuje się w granicach 2,5 do 3 co odpowiada trwałości smarowania 11 000 do 20 000 godzin. Dobrane łożysko baryłkowe FAG 22322ES.TVPB.C4.F80 ma nośność ruchową $C = 815 \text{ kN}$.

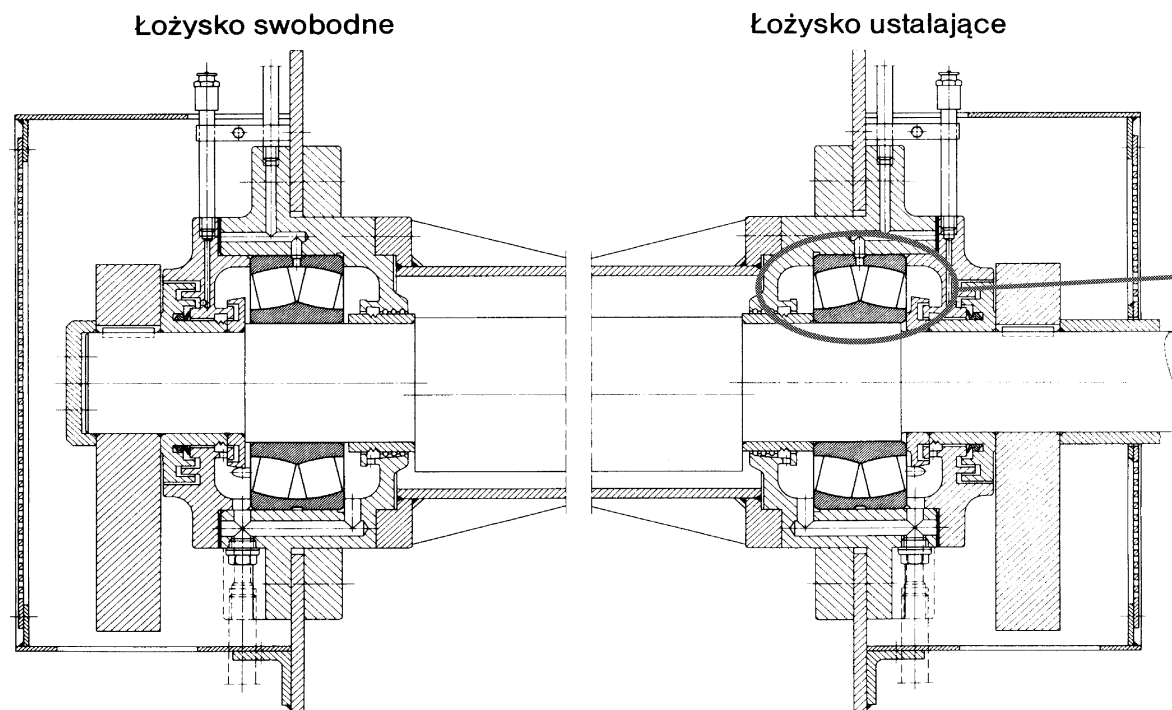
Dokładność wykonania miejsc osadzenia

Pierścienie wewnętrzne są obciążone miejscowo, a zatem są one osadzone na wale luźno; czopy są wykonane wg g6 lub f6. Prawe łożysko baryłkowe jest łożyskiem ustalającym; lewe łożysko jest łożyskiem swobodnym i może się wzdłużnie przesunąć na wale. Ponieważ na pierścienie zewnętrzne działa obciążenie wirujące, są one osadzone ciasno; oprawy są wykonane wg P6.

Smarowanie, uszczelnianie

Smarowanie obiegowe olejem. Zalecane jest stosowanie oleju mineralnego o minimalnej lepkości przy temperaturze pracy 15 do 20 mm²/s. Olej powinien zawierać dodatkowe składniki antykorozyjne i na duże obciążenia.

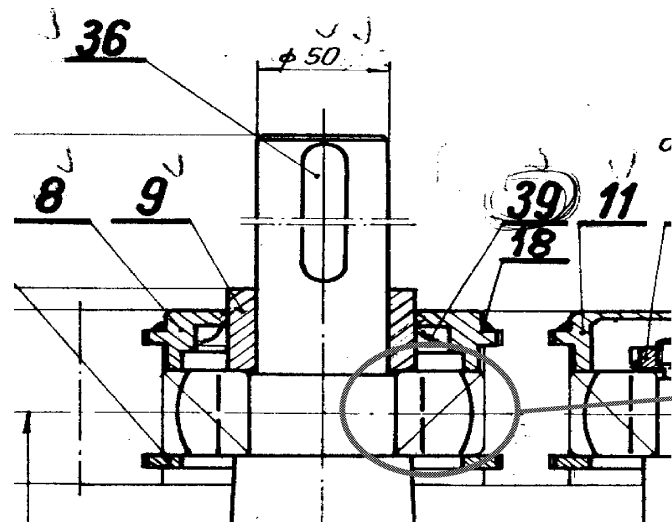
Od zewnątrz łożysko ma uszczelnienie labiryntowe z możliwością dosmarowywania. Jako zabezpieczenie przed wypłynięciem oleju stosuje się obok łożyska odrzutniki oleju z kanałkami chwytającymi i odprowadzającymi go. Między odrzutnikiem oleju i uszczelnieniem labiryntowym, w celu oddzielenia oleju od smaru plastycznego, znajduje się pierścień uszczelniający o profilu V.



sr_walu	ogr_r	ogr_a	obc_Fr	Fa/Fr	...	pr_obr	wsp_tar	łożysko
150	0,50	1,66	250000,00	1,88000	...	2,0	0,0018	bar_wzd
180	0,56	2,09	144000,00	0,31250	...	43,0	0,0018	bar_2r
180	0,56	2,09	79360,00	0,31250	...	43,0	0,0018	bar_2r
180	0,56	2,09	306000,00	0,14706	...	43,0	0,0018	bar_2r
180	0,56	2,09	168640,00	0,14706	...	43,0	0,0018	bar_2r
100	0,66	1,49	130000,00	0,00000	...	30,0	0,003	stozk_2r
320	0,52	1,43	850000,00	0,05000	...	57,4	0,0018	bar_2r
340	0,55	1,52	850000,00	0,05000	...	57,4	0,0018	bar_2r
320	0,52	1,43	850000,00	0,05000	...	57,4	0,0011	wal_zp
320	0,52	1,43	850000,00	0,00000	...	57,4	0,0011	wal_bo
20	0,43	1,43	880,00	0,00000	...	650,0	0,0015	kul_zw
320	0,59	1,47	1065000,00	0,00000	...	10,0	0,0018	bar_2r
320	0,59	1,47	701000,00	0,41940	...	10,0	0,0018	bar_2r
200	0,55	1,92	393500,00	0,33316	...	12,0	0,0018	stozk
200	0,55	1,92	37500,00	1,59733	...	12,0	0,0018	stozk
340	0,56	1,77	441500,00	0,00000	...	500,0	0,0018	bar_2r
340	0,56	1,77	294300,00	0,00000	...	500,0	0,0018	bar_2r
110	0,46	1,38	84500,00	0,00000	...	1200,0	0,0018	bar_2r
75	0,47	1,88	12690,00	1,85973	...	1000,0	0,0018	stozk
75	0,47	1,36	40740,00	0,00000	...	1000,0	0,0011	wal_zp
100	0,47	1,94	35670,00	0,67564	...	396,0	0,0018	stozk
100	0,47	1,94	40520,00	0,28727	...	396,0	0,0018	stozk
140	0,66	2,64	15010,00	0,00000	...	160,5	0,0018	bar_2r
140	0,66	2,64	33650,00	0,23655	...	160,5	0,0018	bar_2r
500	0,70	2,29	209000,00	0,00000	...	65,0	0,003	wal_2r
500	0,68	1,79	678000,00	0,60177	...	65,0	0,003	stozk_2r
...								

Rys. 14. Przykład łożyskowania wału mimośrodowego przesiewacza [FAG] oraz sposób pozyskania i zapis wartości ilościowych cech rozwiązania projektowego w bazie danych

Strona 121	Prostarka PrK-4	Strona 108
Dane	Obliczenie	Wynik
	<p>11.3. Łożysko / na rysunku poz 26 / Oznaczenie łożyska 22220A Wymiary $\phi 100 \times 180 \times 46$ Nośność ruchowa C = 27500kG Obciążenie zastępcze ruchowe P = X · V · P_p + YP_w V = 1 $\frac{P_w}{VP_p} = \frac{236}{1 \cdot 2493} = 0,094 < e$ X = 1 Y = 2,6 P = 1 · 1 · 2493 + 2,6 · 236 = = 2493 + 614 = 3107 kG $\frac{C}{P} = \frac{27500}{3107} = 8,85$ Na podstawie tabl. 17 L = 560 · 10⁶ obrotów Trwałość godzinowa L_h z tabl.20 n = 253 obr/min L_h = 40000 godz.</p>	



sr_walu	ogr_r	ogr_a	obc_Fr	Fa/Fr	...	pr_obr	wsp_tar	lozysko
150	0,50	1,66	250000,00	1,88000	...	2,0	0,0018	bar_wzd
180	0,56	2,09	144000,00	0,31250	...	43,0	0,0018	bar_2r
180	0,56	2,09	79360,00	0,31250	...	43,0	0,0018	bar_2r
180	0,56	2,09	306000,00	0,14706	...	43,0	0,0018	bar_2r
180	0,56	2,09	168640,00	0,14706	...	43,0	0,0018	bar_2r
100	0,66	1,49	130000,00	0,00000	...	30,0	0,003	stozk_2r
320	0,52	1,43	850000,00	0,05000	...	57,4	0,0018	bar_2r
340	0,55	1,52	850000,00	0,05000	...	57,4	0,0018	bar_2r
320	0,52	1,43	850000,00	0,05000	...	57,4	0,0011	wal_zp
320	0,52	1,43	850000,00	0,00000	...	57,4	0,0011	wal_bo
20	0,43	1,43	880,00	0,00000	...	650,0	0,0015	kul_zw
320	0,59	1,47	1065000,00	0,00000	...	10,0	0,0018	bar_2r
320	0,59	1,47	701000,00	0,41940	...	10,0	0,0018	bar_2r
200	0,55	1,92	393500,00	0,33316	...	12,0	0,0018	stozk
200	0,55	1,92	37500,00	1,59733	...	12,0	0,0018	stozk
340	0,56	1,77	441500,00	0,00000	...	500,0	0,0018	bar_2r
340	0,56	1,77	294300,00	0,00000	...	500,0	0,0018	bar_2r
110	0,46	1,38	84500,00	0,00000	...	1200,0	0,0018	bar_2r
75	0,47	1,88	12690,00	1,85973	...	1000,0	0,0018	stozk
75	0,47	1,36	40740,00	0,00000	...	1000,0	0,0011	wal_zp
100	0,47	1,94	35670,00	0,67564	...	396,0	0,0018	stozk
100	0,47	1,94	40520,00	0,28727	...	396,0	0,0018	stozk
100	0,56	2,17	24447,38	0,09400	...	253,0	0,0018	bar_2r
140	0,66	2,64	33650,00	0,23655	...	160,5	0,0018	bar_2r
500	0,70	2,29	209000,00	0,00000	...	65,0	0,003	wal_2r
500	0,68	1,79	678000,00	0,60177	...	65,0	0,003	stozk_2r
...								

Rys. 15. Przykład łożyskowania wału prostarki do blach oraz sposób pozyskania i zapis wartości ilościowych cech rozwiązania projektowego w bazie danych

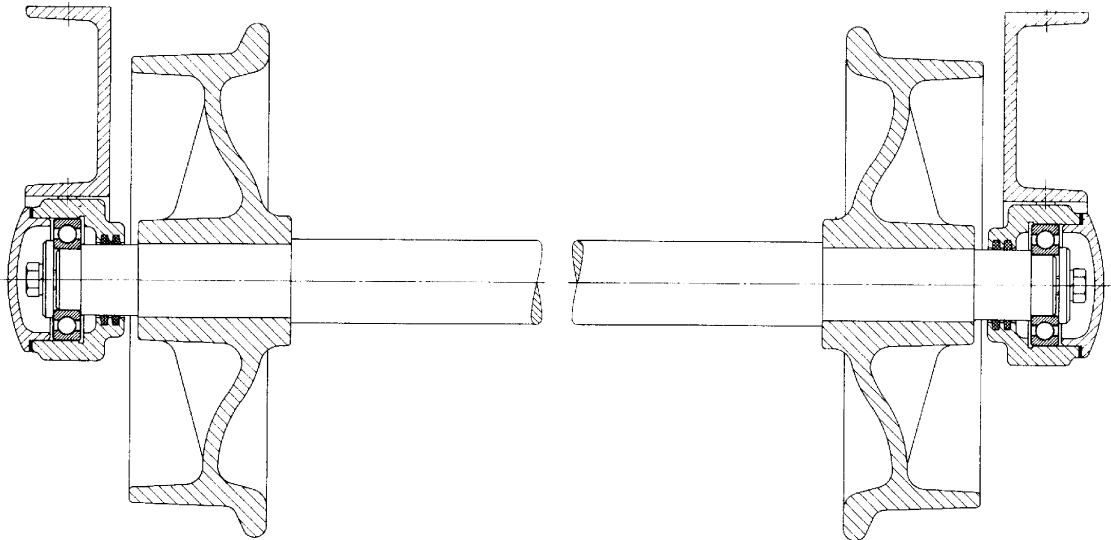
Tabela 12. Zapis przykładu rozwiązania projektowego w formularzu

Formularz do pozyskania reguł * / przykładów* dotyczących rozwiązań projektowych węzłów łączyskowych												
Nr formularza	* niepotrzebne skreślić											
KPKM-P-11	Jak oceniasz tę regułę * / przykład* ?:				bardzo zły/zły		bardzo dobry		bardzo dobra/y		?	
	Jak często można spotkać to rozwiązanie ?:				bardzo rzadko		często		bardzo często		?	
Lp	Nazwa cechy	Wartość cechy	Jaki jest wpływ tej cechy na wybór tego rozwiązania				Do czego stosujesz tę regułę * / przykład* ?					
			bardzo mały	mały	średni	duży	bardzo duży	dobór układu łożysk	dobór rodzaju łożyska	dobór uszczelnienia	dobór ustalenia łożyska	
1	Wartość obciążenia ostowego	Bardzo małe	X									
2	Rozszerzalność wału	Tak						X				
3	Smukłość wału	Duża										
4	Zmiany kierunku działania obc. ostowego	Tak	X									
5	Ujęcie wału	Duże						X				
6	Miejsce przyłożenia obciążenie głównego	Pomiędzy podporami	X									
Cytowania, referencje:			dokumentacja projektowa KOMAG									
Data	Autor											
10.03.99 r.	Adres / tel. / e-mail											
	WS											

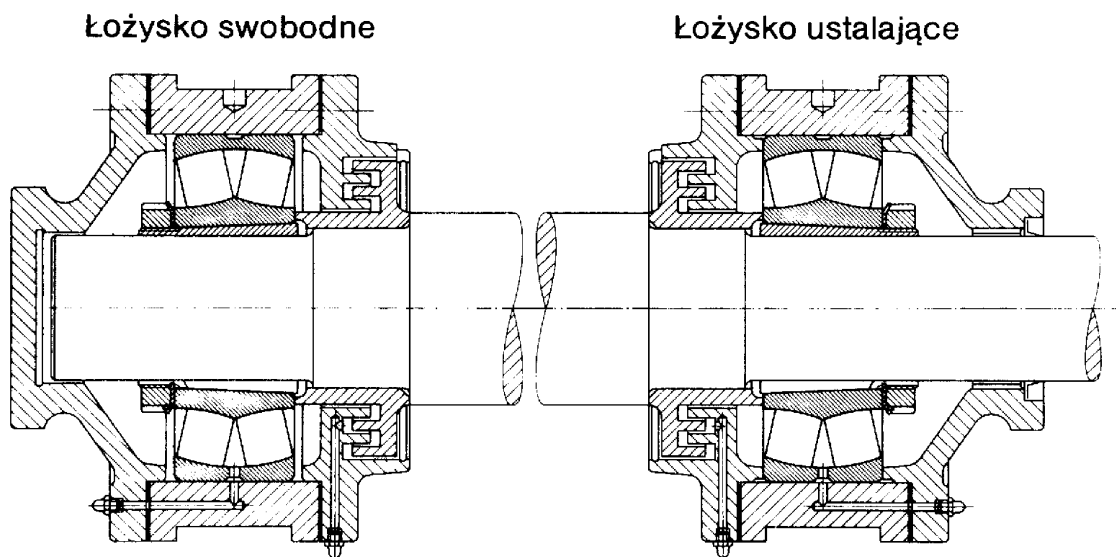
Tabela 13. Przykład zapisu reguły projektowej w formularzu

Formularz do pozyskania reguł* / przykładów* dotyczących rozwiązań projektowych węzłów łożyskowych																
Nr formularza	* niepotrzebne							Jak oceniasz tę regułę* / przykład* ?:								
	skreślić							bardzo zły/zła		duży		Średni		bardzo duży		
Lp	Nazwa cechy	Wartość cechy	bardzo mały		mały		Średni		duży		bardzo duży		bardzo zły/zła		bardzo często	
			bardzo mały	mały	Średni	duży	bardzo duży	bardzo zły/zła	bardzo często							
1	Średnica wału	Bardzo mała ÷ średnia							X							X
2	Ograniczenie miejsca w kierunku promieniowym	Bardzo duże ÷ duże								X						
3	Wartość obciążenia promieniowego	Bardzo małe ÷ duże							X							X
4	Udział obc. osiowego w obc. całkowitym	0 (zero)														X
5	Ujęcie wału	Bardzo małe														X
6	Prędkość obrotowa	Bardzo mała ÷ duża								X						X
Do czego stosujesz tę regułę* / przykład* ?			dobór układu łożysk													
			dobór rodzaju łożyska		dobór rodzaju łożyska				dobór uszczelnienia				dobór doboru ustalania łożyska			
			(poniżej wpisz nazwę rozwiązania projektowego)													
			Łożysko igielkowe													
Cytowania, referencje:			dokumentacja projektowa KOMAG													
Data			Autor													
			Adres / tel. / e-mail													
11.03.99 r.			WS													

przypadkach potrzebę łączenia dwu lub więcej szczegółowych rozwiązań projektowych i utworzenia bardziej ogólnego rozwiązania. Łączenie rozwiązań projektowych wynikało z ich bardzo zbliżonej konstrukcji, co powodowało trudności w ich rozróżnieniu zwłaszcza wtedy, gdy stosowano przyjęty zbiór atrybutów cech i wartości cech.



Rys. 16. Przykład łożyskowania w układzie „łożysko swobodne / łożysko swobodne” [FAG]

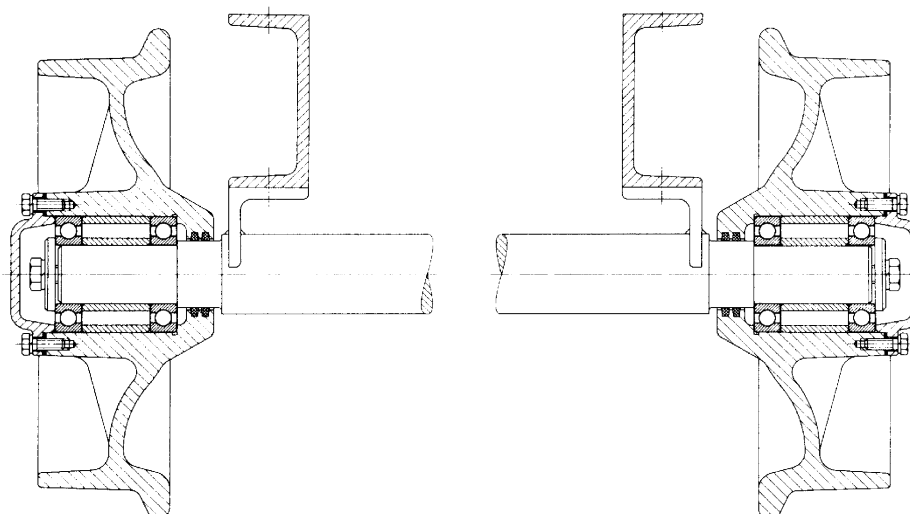


Rys. 17. Przykład łożyskowania w układzie „łożysko swobodne / łożysko ustalające” [FAG]

Układ łożyskowania

Dla zadania doboru układu łożyskowania przyjęto następujące szczegółowe rozwiązania projektowe, które były identyfikowane przez wartości cechy decyzyjnej:

- układ „łożysko swobodne / łożysko swobodne” (Rys. 16),
- układ „łożysko swobodne / łożysko ustalające” (Rys. 17),
- układ „łożysko ustalające / łożysko ustalające” (Rys. 18).

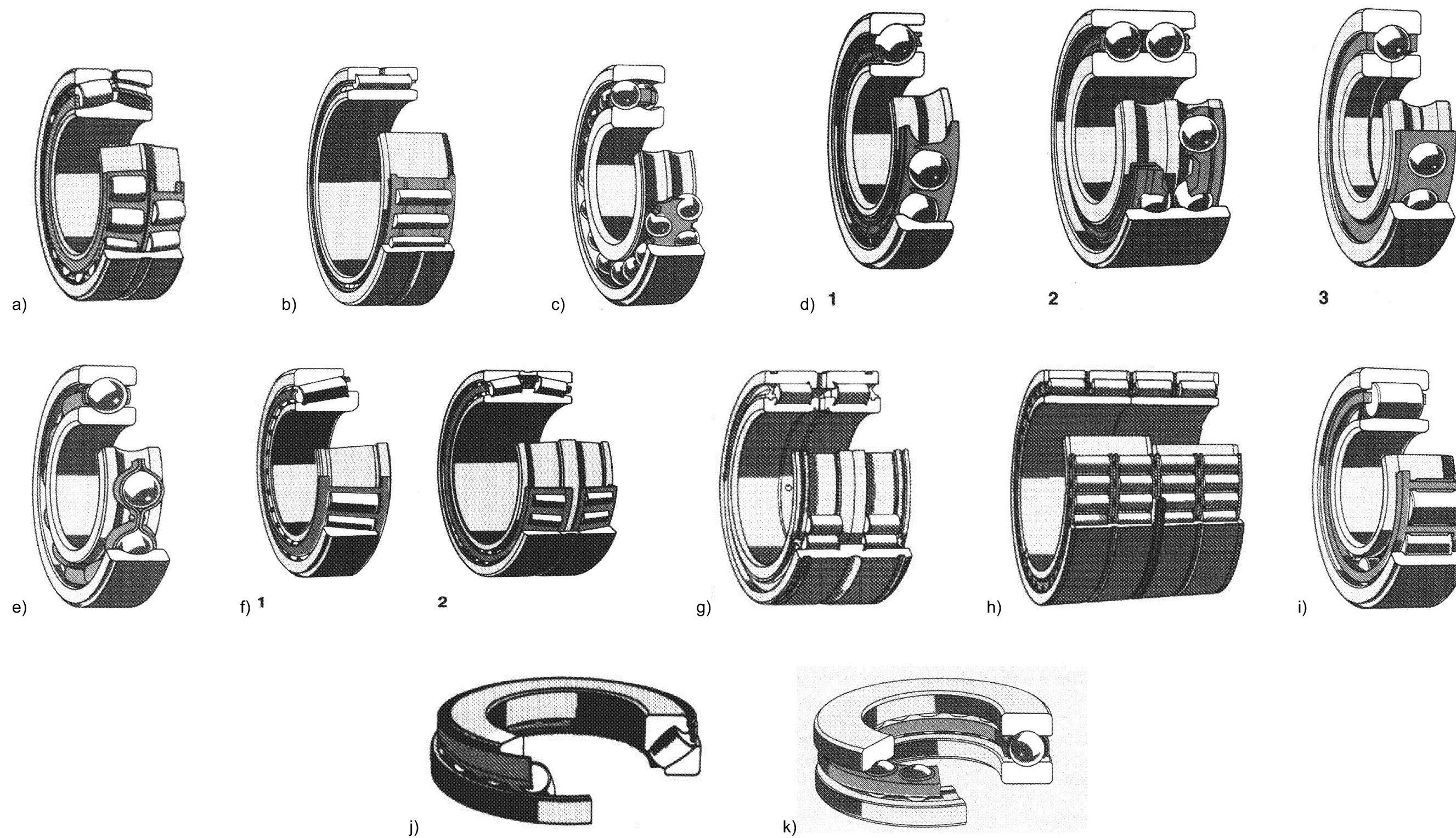


Rys. 18. Przykład łożyskowania w układzie „łożysko ustalające / łożysko ustalające” [FAG]

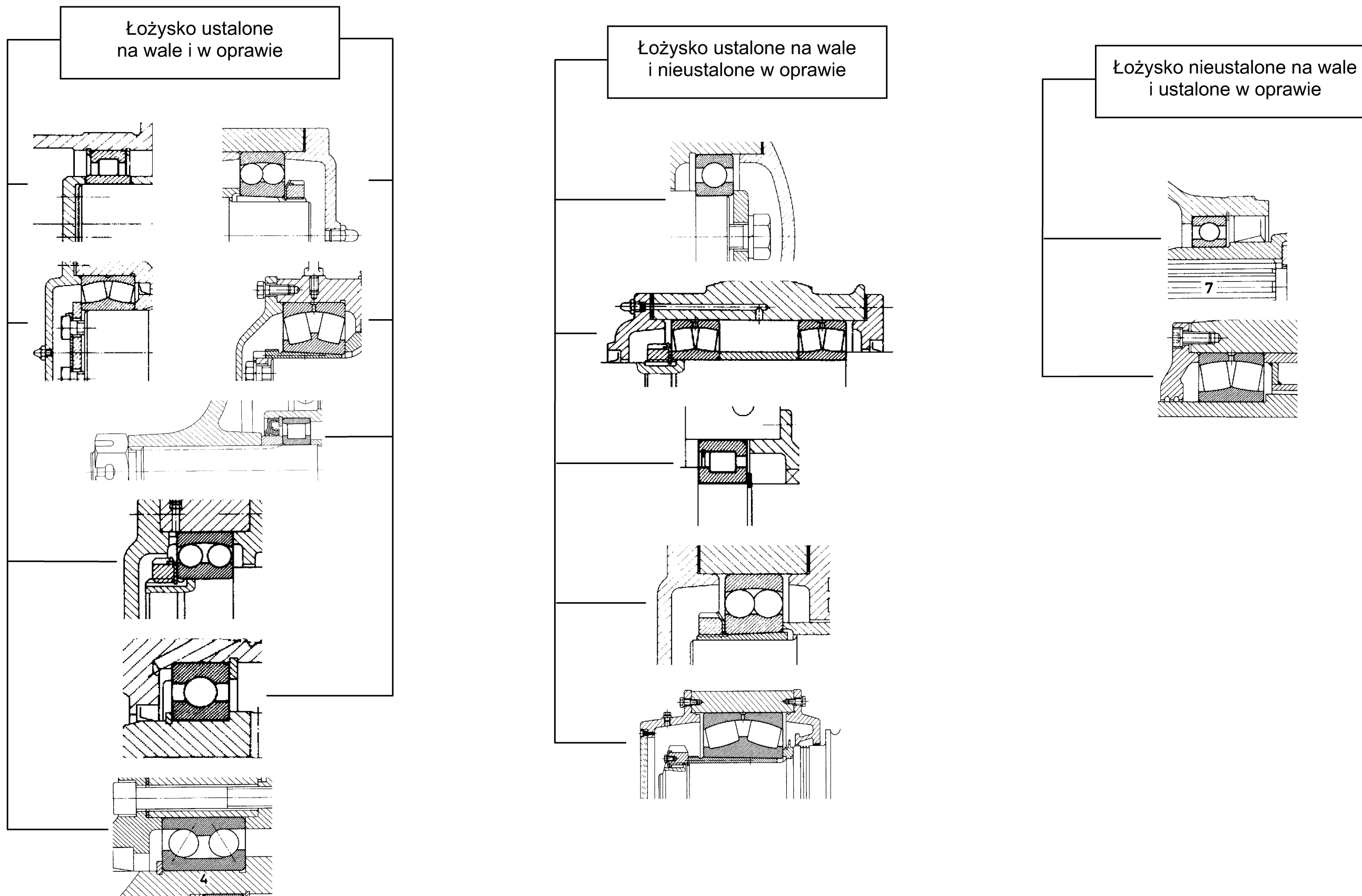
Rodzaj łożyska

Dla zadania doboru rodzaju łożyska tocznego przyjęto następujące szczegółowe rozwiązania projektowe, które były identyfikowane przez wartości cechy decyzyjnej:

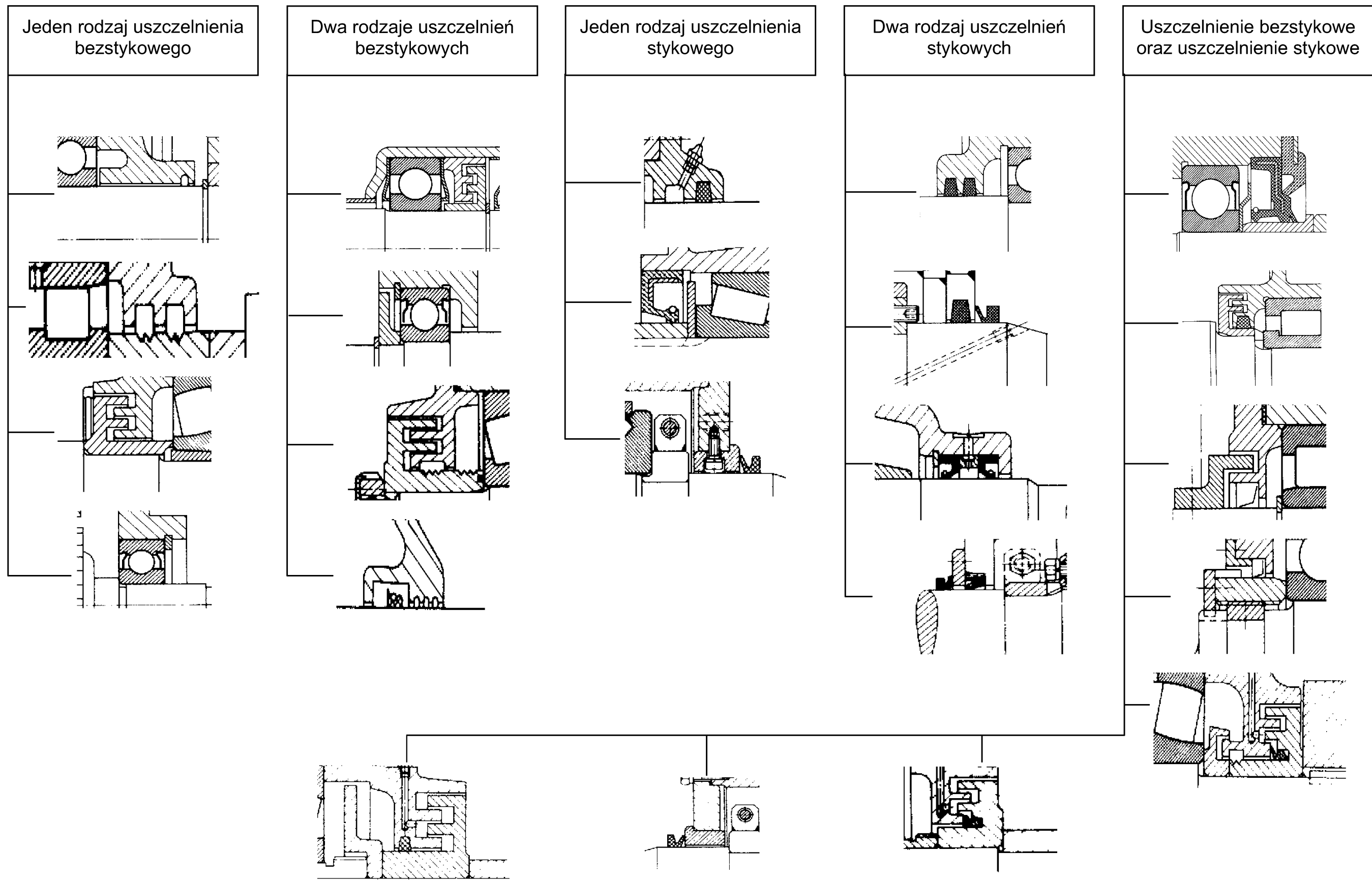
- łożysko baryłkowe 2-rzędowe (Rys. 19a),
- łożysko igielkowe (Rys. 19b),
- łożysko kulkowe wahliwe (Rys. 19c),
- łożysko kulkowe skośne (Rys. 19d1),
- łożysko kulkowe skośne 2-rzędowe (Rys. 19d2),
- łożysko kulkowe skośne 2-kierunkowe (Rys. 19d3),
- łożysko kulkowe zwykłe (Rys. 19e),
- łożysko stożkowe (Rys. 19f1),
- łożysko stożkowe 2-rzędowe (Rys. 19f2),



Rys. 19. Rodzaje łożysk tocznych wyróżnione na podstawie źródeł przykładów projektowych [SKF, 1981]



Rys. 20. Sposoby ustalenia łożysk w kierunku osiowym, wyróżnione na podstawie źródeł przykładów projektowych oraz sposób łączenia szczegółowych rozwiązań w rozwiązania ogólne [FAG]



Rys. 21. Uszczelnienia wyróżnione na podstawie źródeł przykładów projektowych oraz sposób łączenia szczegółowych rozwiązań projektowych w rozwiązania ogólne [FAG]

- łożysko walcowe 2-rzędowe (Rys. 19g),
- łożysko walcowe 4-rzędowe (Rys. 19h),
- łożysko walcowe (Rys. 19i) bez obrzeży - typ NU,
- łożysko walcowe (Rys. 19i) z obrzeżami - typ NUP.
- łożysko baryłkowe wzdłużne (Rys. 19j),
- łożysko kulkowe wzdłużne (Rys. 19k),

Ustalenie łożyska w kierunku osiowym

Dla zadania doboru sposobu ustalenia łożyska w kierunku osiowym przyjęto następujące rozwiązania projektowe, które były identyfikowane przez wartości cechy decyzyjnej:

- łożysko ustalone na wale i w oprawie,
- łożysko ustalone na wale i nieustalone w oprawie,
- łożysko nieustalone na wale i ustalone w oprawie.

Dobierając sposób ustalenia łożyska dokonano połączenia w jedno rozwiązanie kilku rodzajów ustaleń o bardzo zbliżonej konstrukcji. Pozwoliło to na zdecydowane zmniejszenie błędów klasyfikacji. W przyszłości przewiduje się rozszerzenie zbioru atrybutów o dodatkowe atrybuty, które umożliwią rozróżnienie szczegółowych rozwiązań ustaleń łożysk w kierunku osiowym bez konieczności łączenia tych rozwiązań. Rys. 20. przedstawia wyróżnione rozwiązania ustalenia łożyska w kierunku osiowym oraz sposób łączenia szczegółowych rozwiązań projektowych w rozwiązania ogólne.

Rodzaj uszczelnień

Dla zadania doboru rodzaju uszczelnień węzła łożyskowego przyjęto następujące szczegółowe rozwiązania projektowe, które były identyfikowane przez wartości cechy decyzyjnej:

- jeden rodzaj uszczelnienia bezstykowego,
- dwa rodzaje uszczelnień bezstykowych,
- jeden rodzaj uszczelnienia stykowego,
- dwa rodzaje uszczelnień stykowych,
- uszczelnienie stykowe oraz uszczelnienie bezstykowe.

Dobierając uszczelnienia dokonano połączenia w jedno rozwiązanie kilku rodzajów uszczelnień o bardzo zbliżonej konstrukcji. Pozwoliło to na zdecydowane zmniejszenie błędów klasyfikacji. W przyszłości przewiduje się rozszerzenie zbioru atrybutów

o dodatkowe atrybuty, które umożliwią rozróżnienie szczegółowych rozwiązań uszczelnień bez konieczności łączenia tych rozwiązań. Rys. 21. przedstawia wyróżnione rozwiązania uszczelnienia oraz sposób łączenia szczegółowych rozwiązań projektowych w rozwiązania ogólne

6.5.3 Wybór atrybutów

Dla każdego z wyodrębnionych podzadań projektowania węzłów łożyskowych (zob. rozdział 6.1) określono odpowiednie zbiory atrybutów. Atrybuty te warunkują dobór określonego cząstkowego rozwiązania projektowego. Atrybuty zostały wybrane na podstawie:

- 1) zaleceń zawartych w fachowej literaturze,
- 2) konsultacji ze specjalistami,
- 3) eksperymentu numerycznego w trakcie którego wykonano szereg testów polegających na zmianie liczby wybranych atrybutów opisujących przykłady rozwiązań projektowych, przy czym wybór poszczególnych atrybutów był optymalizowany ze względu na błędy klasyfikacji przykładów testowych.

Układ łożyskowania

Dla podzadania wyboru układu łożyskowania przygotowano następujący zbiór atrybutów:

- wartość obciążenia osiowego,
- występowanie zmian długości wału w wyniku rozszerzalności wału - w tym przypadku jedno z łożysk winno być łożyskiem swobodnym, aby umożliwić zmiany długości wału,
- smukłość wału - definiowana jako stosunek odległości między punktami przyłożenia reakcji podporowych do średnicy wału; w przypadku dużej smukłości wału mogą wystąpić duże ugięcia oraz względne zmiany długości tego wału w stosunku do jego średnicy,
- występowanie zmian kierunku działania obciążenia osiowego - jeśli wartość siły osiowej w stosunku do siły promieniowej jest duża i/lub występują częste zmiany kierunku działania siły osiowej, to konieczne jest zastosowanie układu dwóch łożysk ustalających; jeśli wartość siły osiowej w stosunku do siły promieniowej jest niewielka, stosuje się wówczas jedno łożysko ustalające lub zespół np. dwu łożysk ustalających w jednym węźle, przenoszących siły osiowe o zmiennym kierunku działania, natomiast w drugim węźle dobiera się łożysko swobodne,

- ugięcie wału - w przypadku występowania ugięć wału konieczne jest zastosowanie układu „łożysko swobodne / łożysko ustalające” lub układu dwu łożysk swobodnych,
- miejsce przyłożenia obciążenia promieniowego - atrybut ten ma szczególne znaczenie przy wyborze układu łożysk ustalających w układzie typu „O” lub typu „X” dla łożysk stożkowych lub łożysk kulkowych skośnych; w przypadku przyłożenia obciążenia promieniowego do wału między łożyskami stosuje się układ typu „X” ze względu na mniejszą odległość punktu przyłożenia reakcji łożysk od punktu przyłożenia siły wywołującej obciążenie; w przypadku przyłożenia obciążenia promieniowego na zewnątrz łożysk stosuje się układ typu „O” ze względu na większą odległość punktu przyłożenia reakcji łożysk od punktu przyłożenia siły wywołującej obciążenie, co niweluje występowanie momentu gnącego działającego na układ.

Rodzaj łożyska

Dla podzadania wyboru rodzaju łożyska przygotowano następujący zbiór atrybutów:

- średnica wału,
- ograniczenie miejsca dla łożyska w kierunku promieniowym - definiowane jako stosunek średnicy wału do średnicy zewnętrznej łożyska tocznego; ze względu na swoją budowę oraz układ wymiarów część łożysk tocznych umożliwia minimalizację różnicy średnic gniazda w obudowie i wału a tym samym uzyskanie bardziej zwartej postaci węzła łożyskowego ocenianej w kierunku promieniowym,
- ograniczenie miejsca dla łożyska w kierunku osiowym - definiowane jako stosunek średnicy wału do szerokości łożyska tocznego; ze względu na swoją budowę oraz układ wymiarów część łożysk tocznych umożliwia uzyskanie bardziej zwartej postaci węzła łożyskowego ocenianej w kierunku osiowym,
- wartość obciążenia promieniowego działającego na łożysko - atrybut ten warunkuje wybór rodzaju łożyska zdolnego przenieść odpowiednie obciążenia promieniowe,
- udział obciążenia osiowego w obciążeniu całkowitym (F_a/F_r) - atrybut ten decyduje o wyborze rodzaju łożyska zdolnego przenieść zarówno obciążenia promieniowe jak i obciążenia osiowe,
- ugięcie wału - w przypadku występowania większych ugięć konieczne jest zastosowanie łożyska umożliwiającego wychylenia kątowe jego pierścieni,
- prędkość obrotowa wału - atrybut ten decyduje o doborze łożyska zdolnego trwale działać przy zadanej prędkości obrotowej,
- występowanie zmian kierunku działania obciążenia osiowego - w tym przypadku konieczne jest zastosowanie łożysk nierozłącznych (jako łożysk ustalających); w sytuacji zastosowania łożysk kulkowych skośnych lub łożysk stożkowych

w układach typu „O” lub typu „X” wymaganie stosowania łożysk nierozłącznych nie musi być spełnione.

Sposób ustalenia łożyska w kierunku osiowym

Dla podzadania wyboru ustalenia łożyska w kierunku osiowym przygotowano następujący zbiór atrybutów:

- wartość obciążenia osiowego,
- rola łożyska - rola, jaką dane łożysko ma spełnić w układzie - swobodne lub ustalające; atrybut ten warunkuje wybór odpowiedniego sposobu ustalenia osiowego na wale i w oprawie,
- rodzaj łożyska - rodzaj wybranego łożyska do zastosowania w danej podporze; ze względu na rolę łożyska tocznego w układzie należy zwrócić uwagę na jego budowę - łożysko rozłączne / łożysko nierozłączne - co będzie warunkowało sposób ustalenia łożyska w kierunku osiowym,
- wirowanie obciążenia - ze względu na występowanie różnych rodzajów obciążeń łożysk (wirowanie obciążenia z pierścieniem wewnętrznym, wirowanie obciążenia z pierścieniem zewnętrznym lub oba te przypadki) konieczny jest prawidłowy dobór sposobu ustalenia łożyska na wale i w oprawie (gnieździe); w zależności od wirowania obciążenia względem odpowiednich pierścieni łożyska dobiera się konieczne elementy ustalające oraz pasowania.

Rodzaj uszczelnienia

Dla podzadania wyboru rodzaju uszczelnień węzła łożyskowego przygotowano następujący zbiór atrybutów:

- średnica wału,
- ugięcie wału - jeśli występuje, to konieczne jest zastosowanie uszczelnienia umożliwiającego jego odkształcenia pod wpływem ugięć wału,
- prędkość obwodowa wału względem uszczelnienia lub uszczelnienia względem obudowy - jeden z ważniejszych atrybutów decydujących o prawidłowym doborze uszczelnień; przy małych prędkościach obwodowych stosuje się uszczelnienia stykowe, przy dużych prędkościach stosuje się uszczelnienia bezstykowe,
- rodzaj smarowania - smar / olej; przy smarowaniu smarem głównie stosuje się uszczelnienia stykowe, przy smarowaniu olejem - uszczelnienia stykowe lub bezstykowe,
- temperatura pracy - atrybut ten decyduje o doborze uszczelnień stosowanych w zadanej temperaturze bez utraty szczelności w węźle łożyskowym,

- działanie wody - atrybut warunkujący potrzebę zastosowania uszczelnienia uniemożliwiającego przedostanie się wody (wilgoci) do węzła łożyskowego,
- zanieczyszczenie powietrza - atrybut warunkujący potrzebę zastosowania uszczelnienia uniemożliwiającego przedostanie się zanieczyszczeń do wnętrza węzła łożyskowego,
- układ wału - pionowy / poziomy; szczególnie w pionowym położeniu wału konieczne jest zastosowanie takiego rodzaju uszczelnienia w dolnej części obudowy, które będzie pracowało prawidłowo pod naciskiem środka smarnego oraz całkowicie zanurzone w tym środku.

Ważnym zagadnieniem rozwiązany podczas doboru wspomnianych atrybutów było zidentyfikowanie typów cech o wartościach jakościowych (zob. punkt 2.1.3). Identyfikacja typów cech ma szczególne znaczenie w późniejszym etapie przygotowywania zbiorów przykładów uczących, jakim jest kwantowanie wartości cech. W przypadku generowania reguł indukcyjnymi metodami „uczenia maszynowego” uogólnione reguły mogą w przesłankach zawierać warunki, określone dla przedziałów wartości cech (tylko dla cechy typu **lin**).

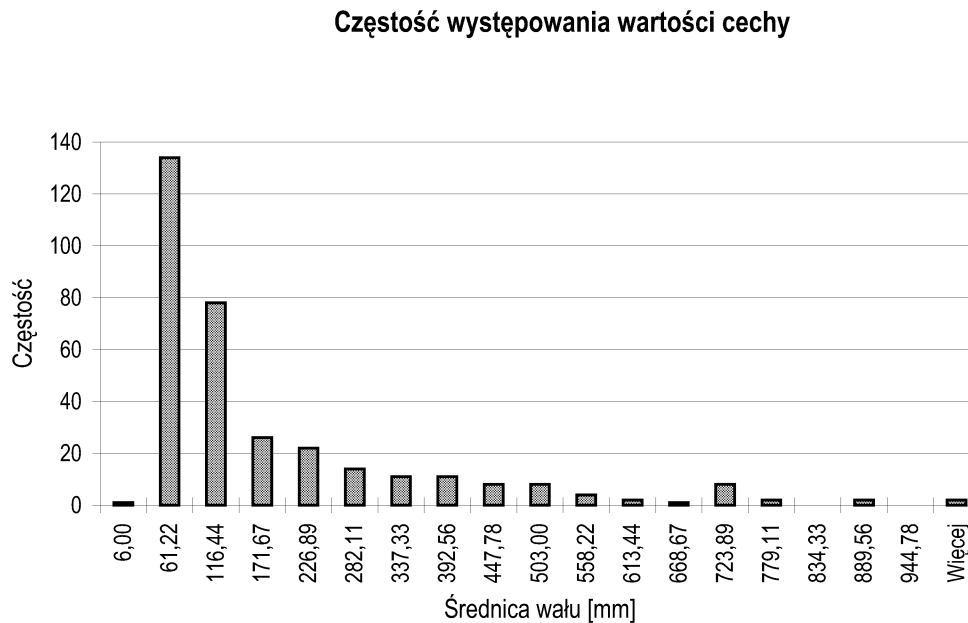
6.5.4 Kwantowanie i kodowanie wartości cech

Wartości cech, pozyskane z dokumentacji projektowo-konstrukcyjnej oraz z fachowej literatury były reprezentowane w postaci liczbowej. W celu ograniczenia mocy zbioru wartości cech postanowiono dokonać kwantowania tych wartości. Dla otrzymanych wartości cech typu nominalnego dokonano odpowiedniego kodowania, nadając tym wartościom nazwy.

Dla przedstawionych wcześniej podzadań utworzono odpowiadające im zbiory atrybutów, które opisywały pole możliwych rozwiązań. W wyniku analizy wartości liczbowych (ilościowych) cech liniowych reprezentujących poszczególne przykłady dokonano kwantowania wartości tych cech oraz wartościom skwantowanym przypisano wartości lingwistyczne. Kwantowania tego dokonano w następujący sposób:

- dla wszystkich wartości wybranej cechy odpowiadającej zgromadzonym przykładom zastosowań tworzono histogram częstości występowania tych wartości we wstępnie określonych przedziałach; Rys. 22. przedstawia przykład histogramu wartości cechy „średnica wału”,
- z postaci wykonanego histogramu wnioskowano o rozkładzie wartości; przy malejącej częstości występowania wartości wraz ze wzrostem wartości cechy w danych przedziałach stosowano kwantowanie według skali logarytmicznej (Rys. 22), a w przypadku równomiernej częstości występowania wartości w przedziałach kwantyzacji stosowano kwantowanie według skali liniowej,

- przyjmując wcześniej ustalone progi kwantowania przypisano im odpowiednie wartości lingwistyczne; w celu późniejszego użycia tak przygotowanych przykładów uczących do procesu „uczenia maszynowego” stosuje się przeważnie małą liczbę progów kwantowania.



Rys. 22. Przykład histogramu wartości atrybutu „średnica wału”

Tabela 14. Przykład wyznaczonych progów kwantowania wartości atrybutu „średnica wału”

Progi kwantowania wartości atrybutu „średnica wału” [mm]		Przyjęte nazwy wartości atrybutu „średnica wału”
ponad	do	
-	16,70	bardzo mała
16,70	46,45	mała
46,45	129,20	średnia
129,20	359,45	duża
359,45	-	bardzo duża

Przedstawione w dalszej części niniejszego punktu atrybuty i wartości zostały ustalone na podstawie przeprowadzonej analizy zbiorów wartości liczbowych poszczególnych atrybutów. Ustalenie progów kwantowania odbyło się z zastosowaniem odpowiedniego oprogramowania. Oprogramowanie to także umożliwiło kwantowanie wg skali logarytmicznej. Dodatkowy program (wg pomysłu P. Kostki) pozwalał zmieniać wartości progów kwantowania przy zachowanej logarytmicznej skali, w ten sposób, aby uzyskane

Tabela 15. Przyjęte atrybuty oraz wartości dla zadania doboru układu łożyskowania

Nazwy atrybutów	Przyjęte wartości atrybutów				
obciążenie osiowe	bardzo małe	małe	średnie	duże	bardzo duże
rozszerzalność cieplna wału	<u>występuje, nie występuje</u>				
smukłość wału	bardzo mała	mała	średnia	duża	bardzo duża
zmiana kierunku obc. osiowego	<u>występuje, nie występuje</u>				
ugięcie wału	bardzo małe	małe	średnie	duże	bardzo duże
miejsce przyłożenia obciążenia promieniowego	<u>pomiędzy podporami, poza podporami, pomiędzy i poza podporami</u>				

Tabela 16. Przyjęte atrybuty oraz wartości dla zadania doboru rodzaju łożyska tocznego

Nazwy atrybutów	Przyjęte wartości atrybutów						
średnica wału	bardzo mała	mała	średnia	duża	bardzo duża		
ograniczenie miejsca w kierunku promieniowym	bardzo małe	małe	średnie	duże	bardzo duże		
ograniczenie miejsca w kierunku osiowym	bardzo małe	małe	średnie	duże	bardzo duże		
obciążenie promieniowe	bardzo małe	małe	średnie	duże	bardzo duże		
udział obciążenia osiowego w obciążeniu całkowitym (F_d/F_r)	czyste obc. pr.	promieniowe z udziałem obc. os.	promieniowe z udziałem obc. osiowego	promieniowe z udziałem obc. osiowego	promieniowe z udziałem obciążenia osiowego	promieniowe z udziałem obciążenia osiowego	czyste obciążenie osiowe
		10÷18%	18÷35%	35÷65%	65÷124%	124÷236%	
ugięcie wału	bardzo małe	małe	średnie	duże	bardzo duże		
prędkość obrotowa wału	bardzo mała	mała	średnia	duża	bardzo duża		
zmiana kierunku działania obciążenia osiowego	<u>występuje, nie występuje</u>						

progi były zgodne z zaleceniami i wskazówkami zawartymi w fachowej literaturze i katalogach producentów zajmujących się tą dziedziną (np. [Krzemiński-Freda, 1989], [Brändlein, Eschmann, Hasbargen, Weigand, 1995], [INA, 1980], [SKF, 1981], [FAG]). Tabela 14. przedstawia wyznaczone progi kwantowania dla cechy „średnica wału”.

Przedstawione tabele (Tabela 15. ÷ Tabela 18.) ukazują przyjęte do badań atrybuty i wartości jakościowe. W przypadku wartości cech typu liniowego (**lin** - zob. punkt 2.1.3) szerokość komórek ukazuje przybliżone zakresy wartości cech ilościowych odpowiadających cechom jakościowym. Dla wartości cech typu nominalnego (**nom** - zob. punkt 2.1.3) progów kwantowania nie wyznaczono, a wartości tych cech podkreślono.

Tabela 17. Przyjęte atrybuty oraz wartości dla zadania doboru sposobu ustalenia łożyska w kierunku osiowym

Nazwy atrybutów	Przyjęte wartości atrybutów				
względne obciążenie osiowe	bardzo małe	małe	średnie	duże	bardzo duże
rola łożyska	<u>swobodne, ustalające</u>				
rodzaj łożyska	przyjęte w badaniach rodzaje łożysk (zob. punkt 6.5.2)				
wirowanie obciążenia	<u>względem pierścienia wewnętrznego, względem pierścienia zewnętrznego, względem obu pierścieni</u>				

Tabela 18. Przyjęte atrybuty oraz wartości dla zadania doboru uszczelnień

Nazwy atrybutów	Przyjęte wartości atrybutów				
średnica wału	bardzo mała	mała	średnia	duża	bardzo duża
ugięcie wału	bardzo małe	małe	średnie	duże	bardzo duże
prędkość obwodowa wału	bardzo mała	mała	średnia	duża	bardzo duża
rodzaj środka smarnego	<u>smar, olej</u>				
temperatura pracy	bardzo mała	mała	średnia	duża	bardzo duża
działanie wody	<u>brak działania, kropłowe, natryskowe, pod ciśnieniem</u>				
zanieczyszczenie powietrza	<u>nieznaczne, umiarkowane, silne, bardzo silne</u>				
układ wału	<u>poziomy, pionowy</u>				

Tabela 16. zawiera wartości jakościowe cechy „udział obciążenia osiowego w obciążeniu całkowitym (F_a/F_r)”, które zostały ustalone na podstawie analizy zbioru

wartości ilościowych tej cechy, po wcześniejszym przygotowaniu histogramu i ustaleniu liczby wartości jakościowych. Zastosowane nazwy wartości jakościowych dobrano w celu ułatwienia specjalistce oceny zbiorów reguł uzyskanych metodami indukcyjnymi.

Tabela 18. zawiera wartości jakościowe cech „działanie wody” oraz „zanieczyszczenie powietrza”, które zostały ustalone przez autora subiektywnie. Ustalenie tych wartości wynikało z trudności oceny warunków działania, w jakich eksploatowany był dany wytwór. Skąpe opisy warunków zawarte w dostępnej literaturze nie ułatwiły autorowi zapisu wartości poszczególnych cech. W większości przypadków autor kierował się przypuszczalnymi warunkami, w jakich mógł działać wytwór i na tej podstawie określał odpowiednie wartości cech dla danego przykładu rozwiązania projektowego.

6.5.5 Reprezentacja przykładów

Do pozyskiwania wiedzy indukcyjnymi metodami „uczenia maszynowego” przykłady uczące zapisywane były za pomocą systemu informacyjnego, w którym wartości cech oraz wartości cechy decyzyjnej (np. nazwa lub identyfikator rozwiązania projektowego) opisują poszczególne rozwiązania projektowe. Rys. 23. przedstawia fragment danych reprezentujących przykłady uczące dotyczące zastosowań łożysk stożkowych 2-rzędowych, przygotowanych przez autora, w formacie zapisu wymaganym przez program AQ15c. Tabela 19. przedstawia odpowiadające poniższemu rysunkowi nazwy wartości cechy decyzyjnej, nazwy atrybutów oraz wartości, zapisane w celu ułatwienia czytelnikowi zrozumienia zapisu tych przykładów uczących.

```

. . .
stozk_2r-events
sr_walu  ogr_r  ogr_a  obc_Fr  Fa/Fr  pr_obr  zm_kier_obc_os
sred     sred  male  duze   promien  sred  tak
b_duza   duze   sred  b_duze pr_35_65_os  sred  tak
b_duza   duze   duze  duze   pr_65_124_os  sred  tak
b_duza   duze   sred  duze   pr_18_35_os  sred  tak
b_duza   duze   sred  b_duze promien  sred  tak
. . .

```

Rys. 23. Fragment przygotowanych danych reprezentujących przykłady uczące

Dla wymienionych w rozdziale 6.4. szczegółowych zadań dotyczących projektowania węzłów łożyskowych, przygotowano odpowiednie zbiory przykładów uczących. Przykłady zostały zapisane w plikach tekstowych w odpowiednich formatach wymaganych przez zastosowane w badaniach oprogramowanie.

Tabela 19. Objasnienie nazw atrybutów i wartości

Średnica wału	Ograniczenie miejsca w kierunku promieniowym	Ograniczenie miejsca w kierunku osiowym	Obciążenie promieniowe	Udział obciążenia osiowego w obciążeniu całkowitym	Prędkość obrotowa	Zmiana kierunku obciążenia osiowego
...						
średnia	średnie	małe	duże	czyste obciążenie promieniowe	średnia	występuje
bardzo duża	duże	średnie	bardzo duże	promieniowe z 35÷65% udziałem obciążenia osiowego	średnia	występuje
bardzo duża	duże	duże	duże	promieniowe z 65÷124% udziałem obciążenia osiowego	średnia	występuje
bardzo duża	duże	średnie	duże	promieniowe z 18÷35% udziałem obciążenia osiowego	średnia	występuje
bardzo duża	duże	średnie	bardzo duże	czyste obciążenie promieniowe	średnia	występuje
...						

Zgromadzone przykłady pozyskano z różnych źródeł. Tabela 20. przedstawia liczby przygotowanych przykładów dla poszczególnych podzadań projektowych z uwzględnieniem źródeł.

Tabela 20. Liczby zgromadzonych przykładów dla poszczególnych zadań projektowych

Zadanie projektowe	Źródło przykładów	Liczba przykładów pozyskanych z danego źródła	Ogólna liczba przykładów
dobór układu łożyskowania	dokumentacja projektowa	26	46
	fachowa literatura	20	
dobór rodzaju łożyska tocznego	dokumentacja projektowa	204	387
	fachowa literatura	183	
dobór ustalenia łożyska w kierunku osiowym	dokumentacja projektowa	100	374
	fachowa literatura	274	
dobór uszczelnień	dokumentacja projektowa	69	160
	fachowa literatura	91	

6.6 Wyniki badań

Rozdział zawiera wyniki uzyskane przez autora w trakcie badań. W pierwszej części przedstawiono wyniki klasyfikacji z zastosowaniem metod indukcyjnych, w drugiej - ocenę wiedzy pozyskanej przez specjalistów. Rozdział kończy dyskusja wyników badań porównawczych. Załączniki do rozprawy doktorskiej zawierają kompletne zbiory reguł pozyskanych metodami indukcyjnymi oraz wyniki klasyfikacji przykładów testowych z zastosowaniem techniki *leave-one-out*.

6.6.1 Wyniki klasyfikacji z zastosowaniem metod indukcyjnych

W celu porównania wyników klasyfikacji reguł na podstawie reguł pozyskanych z różnych źródeł dokonano podziału całego zbioru przykładów na podzbiory. Utworzono podzbiór przykładów zgromadzonych na podstawie dokumentacji projektowej oraz podzbiór przykładów zgromadzonych na podstawie fachowej literatury. Dla tych podzbiorów i całego zbioru przykładów uczących przeprowadzono testowanie techniką *leave-one-out* i porównano błędy klasyfikacji.

Tabela 21. Błędy klasyfikacji dla zbiorów przykładów pozyskanych z różnych źródeł - wyniki uzyskane z zastosowaniem programu *AQ15c*

Zadanie projektowe	Źródło przykładów	Wartości błędów klasyfikacji z zastosowaniem techniki <i>leave-one-out</i>		
		ϵ_{ov}	ϵ_{om}	ϵ_{co}
dobór układu łożyskowania	dokumentacja projektowa	0,242	0,311	0,201
	fachowa literatura	0,045	0,049	0,049
	dok. proj. i fachowa lit.	0,087	0,366	0,059
dobór rodzaju łożyska tocznego	dokumentacja projektowa	0,149	0,185	0,034
	fachowa literatura	0,207	0,313	0,016
	dok. proj. i fachowa lit.	0,147	0,216	0,012
dobór ustalenia łożyska w kierunku osiowym	dokumentacja projektowa	0,211	0,272	0,122
	fachowa literatura	0,235	0,360	0,090
	dok. proj. i fachowa lit.	0,139	0,197	0,089
dobór uszczelnień wału	dokumentacja projektowa	0,250	0,308	0,070
	fachowa literatura	0,126	0,243	0,033
	dok. proj. i fachowa lit.	0,188	0,272	0,051

Tabela 21. przedstawia błędy klasyfikacji dla tych podzbiorów i całego zbioru przykładów uczących uzyskane z zastosowaniem programu AQ15c. Zauważyć można, że błędy klasyfikacji uzyskane na podstawie całego zbioru przykładów uczących nie stanowią średniej arytmetycznej błędów klasyfikacji uzyskanych na podstawie przykładów zgromadzonych z różnych źródeł. Dla reguł wygenerowanych na podstawie przykładów z dokumentacji projektowej oceny błędów klasyfikacji były wyższe niż dla reguł wygenerowanych na podstawie fachowych publikacji. Mogło się to wiązać z tym, iż zgromadzone przykłady z dokumentacji projektowej dotyczyły wąskiego zakresu maszyn i urządzeń stosowanych w przemyśle hutniczym, co powodowało występowanie większej liczby błędów klasyfikacji w przypadku klasyfikowania nowego przykładu.

Kolejne tabele (Tabela 22. ÷ Tabela 33.) przedstawiają wyniki przeprowadzonych badań porównawczych indukcyjnych metod „uczenia maszynowego” zgodnie z zawartym w rozdziale 6.3 planem badań. Wykonano wiele testów dla każdego podzadania projektowego, stosując odpowiednie środki pozyskiwania wiedzy. W zależności od zastosowanego środka programowego było to pięć testów dla programu AQ15c oraz po cztery testy dla programów C4.5 i Rosetta. Różnica w liczbie przeprowadzonych testów dla poszczególnych programów wynika z faktu zastosowania dodatkowego testu z tzw. regułami wstępnymi (zob. punkt 2.7.2 oraz dodatek A). W przypadku klasyfikacji przykładów testowych pozyskanych od specjalisty miary ocen reguł: κ , α , θ , δ , oraz λ są identyczne jak te uzyskane przy przyjętym początkowym systemie informacyjnym. Ostatnia kolumna w tabelach zawiera liczbę reguł uzyskanych dla poszczególnych testów.

Wyniki badań dla podzadania doboru układu łożyskowania

Tabela 22. Wyniki testów dla podzadania doboru układu łożyskowania (program AQ15c)

Wykonane testy	Otrzymane oceny klasyfikacji								
	ε_{ov}	ε_{om}	ε_{co}	κ	α	θ	δ	λ	$ R $
początkowy system informacyjny test techniką <i>leave-one-out</i>	0,087	0,366	0,059	5,11	5,67	0,10	0,10	2,44	9
test kolejności atrybutów test techniką <i>leave-one-out</i>	0,109	0,387	0,078	5,11	5,89	0,13	0,10	2,44	9
test kolejności przykładów test techniką <i>leave-one-out</i>	0,109	0,387	0,078	5,11	5,89	0,13	0,10	2,56	9
początkowy system informacyjny oraz przykłady specjalisty	0,174	0,412	0,117	wyniki jak dla początkowego systemu informacyjnego					
początkowy system informacyjny oraz reguły wstępne specjalisty test techniką <i>leave-one-out</i>	0,174	0,414	0,104	6,57	8,29	0,21	0,06	1,86	7

Tabela 23. Wyniki testów dla podzadania doboru układu łożyskowania (program C4.5)

Wykonane testy	Otrzymane oceny klasyfikacji								
	ε_{ov}	ε_{om}	ε_{co}	κ	α	θ	δ	λ	$ R $
początkowy system informacyjny test techniką <i>leave-one-out</i>	0,087	0,366	0,059	15,33	15,33	0,00	0,01	1,00	3
test kolejności atrybutów test techniką <i>leave-one-out</i>	0,087	0,366	0,059	15,33	15,33	0,00	0,01	1,00	3
test kolejności przykładów test techniką <i>leave-one-out</i>	0,087	0,366	0,059	15,33	15,33	0,00	0,01	1,00	3
początkowy system informacyjny oraz przykłady specjalisty	0,174	0,412	0,296	wyniki jak dla początkowego systemu informacyjnego					

Tabela 24. Wyniki testów dla podzadania doboru układu łożyskowania (program Rosetta)

Wykonane testy	Otrzymane oceny klasyfikacji								
	ε_{ov}	ε_{om}	ε_{co}	κ	α	θ	δ	λ	$ R $
początkowy system informacyjny test techniką <i>leave-one-out</i>	0,283	0,467	0,151	1,84	2,32	0,21	0,25	2,24	25
test kolejności atrybutów test techniką <i>leave-one-out</i>	0,174	0,440	0,139	1,92	2,71	0,29	0,24	2,17	24
test kolejności przykładów test techniką <i>leave-one-out</i>	0,304	0,272	0,228	1,84	2,32	0,21	0,25	2,24	25
początkowy system informacyjny oraz przykłady specjalisty	0,304	0,354	0,143	wyniki jak dla początkowego systemu informacyjnego					

Wyniki badań dla podzadania doboru łożyska

Tabela 25. Wyniki testów dla podzadania doboru łożyska (program AQ15c)

Wykonane testy	Otrzymane oceny klasyfikacji								
	ε_{ov}	ε_{om}	ε_{co}	κ	α	θ	δ	λ	$ R $
początkowy system informacyjny test techniką <i>leave-one-out</i>	0,147	0,216	0,012	5,38	6,11	0,12	0,11	3,49	72
test kolejności atrybutów test techniką <i>leave-one-out</i>	0,160	0,217	0,012	5,16	6,23	0,17	0,12	3,48	75
test kolejności przykładów test techniką <i>leave-one-out</i>	0,158	0,217	0,012	5,23	6,15	0,15	0,12	3,57	78
początkowy system informacyjny oraz przykłady specjalisty	0,221	0,208	0,026	wyniki jak dla początkowego systemu informacyjnego					
początkowy system informacyjny oraz reguły wstępne specjalisty test techniką <i>leave-one-out</i>	0,282	0,429	0,025	7,04	8,89	0,21	0,08	3,49	55

Tabela 26. Wyniki testów dla podzadania doboru łożyska (program C4.5)

Wykonane testy	Otrzymane oceny klasyfikacji								
	ε_{ov}	ε_{om}	ε_{co}	κ	α	θ	δ	λ	$ R $
początkowy system informacyjny test techniką <i>leave-one-out</i>	0,160	0,321	0,013	11,06	10,49	-0,05	0,05	3,51	35
test kolejności atrybutów test techniką <i>leave-one-out</i>	0,158	0,320	0,012	11,06	10,49	-0,05	0,05	3,34	35
test kolejności przykładów test techniką <i>leave-one-out</i>	0,165	0,324	0,013	12,09	11,53	-0,05	0,05	3,50	32
początkowy system informacyjny oraz przykłady specjalisty	0,302	0,269	0,026	wyniki jak dla początkowego systemu informacyjnego					

Tabela 27. Wyniki testów dla podzadania doboru łożyska (program Rosetta)

Wykonane testy	Otrzymane oceny klasyfikacji								
	ε_{ov}	ε_{om}	ε_{co}	κ	α	θ	δ	λ	$ R $
początkowy system informacyjny test techniką <i>leave-one-out</i>	0,196	0,270	0,013	2,53	3,39	0,36	0,19	2,74	153
test kolejności atrybutów test techniką <i>leave-one-out</i>	0,202	0,281	0,013	2,56	3,97	0,35	0,19	2,77	151
test kolejności przykładów test techniką <i>leave-one-out</i>	0,207	0,270	0,013	2,53	3,39	0,36	0,19	2,74	153
początkowy system informacyjny oraz przykłady specjalisty	0,651	0,897	0,042	wyniki jak dla początkowego systemu informacyjnego					

Wyniki badań dla podzadania doboru sposobu ustalenia łożyska w kierunku osiowym

Tabela 28. Wyniki testów dla podzadania doboru ustalenia łożyska w kierunku osiowym (program AQ15c)

Wykonane testy	Otrzymane oceny klasyfikacji								
	ε_{ov}	ε_{om}	ε_{co}	κ	α	θ	δ	λ	$ R $
początkowy system informacyjny test techniką <i>leave-one-out</i>	0,139	0,197	0,089	20,78	20,67	-0,01	0,03	2,28	18
test kolejności atrybutów test techniką <i>leave-one-out</i>	0,115	0,182	0,077	22,00	21,53	-0,02	0,03	2,35	17
test kolejności przykładów test techniką <i>leave-one-out</i>	0,187	0,310	0,100	17,81	20,90	0,15	0,04	2,38	21
początkowy system informacyjny oraz przykłady specjalisty	0,126	0,130	0,064	wyniki jak dla początkowego systemu informacyjnego					
początkowy system informacyjny oraz reguły wstępne specjalisty test techniką <i>leave-one-out</i>	0,136	0,262	0,108	20,78	29,44	0,29	0,03	2,11	18

Tabela 29. Wyniki testów dla podzadania doboru sposobu ustalenia osiowego łożyska
(program C4.5)

Wykonane testy	Otrzymane oceny klasyfikacji								
	ϵ_{ov}	ϵ_{om}	ϵ_{co}	κ	α	θ	δ	λ	$ R $
początkowy system informacyjny test techniką <i>leave-one-out</i>	0,115	0,174	0,071	24,93	26,67	0,07	0,02	1,73	15
test kolejności atrybutów test techniką <i>leave-one-out</i>	0,115	0,174	0,071	24,93	26,67	0,07	0,02	1,73	15
test kolejności przykładów test techniką <i>leave-one-out</i>	0,115	0,174	0,071	24,93	26,67	0,07	0,02	1,73	15
początkowy system informacyjny oraz przykłady specjalisty	0,165	0,184	0,088	wyniki jak dla początkowego systemu informacyjnego					

Tabela 30. Wyniki testów dla podzadania doboru sposobu ustalenia osiowego łożyska
(program Rosetta)

Wykonane testy	Otrzymane oceny klasyfikacji								
	ϵ_{ov}	ϵ_{om}	ϵ_{co}	κ	α	θ	δ	λ	$ R $
początkowy system informacyjny test techniką <i>leave-one-out</i>	0,168	0,230	0,087	4,07	4,54	0,11	0,17	2,33	92
test kolejności atrybutów test techniką <i>leave-one-out</i>	0,160	0,227	0,086	4,35	4,66	0,07	0,16	2,35	86
test kolejności przykładów test techniką <i>leave-one-out</i>	0,168	0,178	0,078	4,07	4,54	0,11	0,17	2,33	92
początkowy system informacyjny oraz przykłady specjalisty	0,696	0,756	0,396	wyniki jak dla początkowego systemu informacyjnego					

Wyniki badań dla podzadania doboru uszczelnień

Tabela 31. Wyniki testów dla podzadania doboru uszczelnień (program AQ15c)

Wykonane testy	Otrzymane oceny klasyfikacji								
	ϵ_{ov}	ϵ_{om}	ϵ_{co}	κ	α	θ	δ	λ	$ R $
początkowy system informacyjny test techniką <i>leave-one-out</i>	0,188	0,272	0,051	5,71	7,61	0,25	0,08	3,04	28
test kolejności atrybutów test techniką <i>leave-one-out</i>	0,188	0,273	0,051	5,71	7,11	0,20	0,08	3,04	28
test kolejności przykładów test techniką <i>leave-one-out</i>	0,188	0,261	0,050	5,93	6,85	0,14	0,08	3,04	27
początkowy system informacyjny oraz przykłady specjalisty	0,242	0,348	0,105	wyniki jak dla początkowego systemu informacyjnego					
początkowy system informacyjny oraz reguły wstępne specjalisty test techniką <i>leave-one-out</i>	0,250	0,225	0,065	6,40	8,72	0,27	0,07	2,72	25

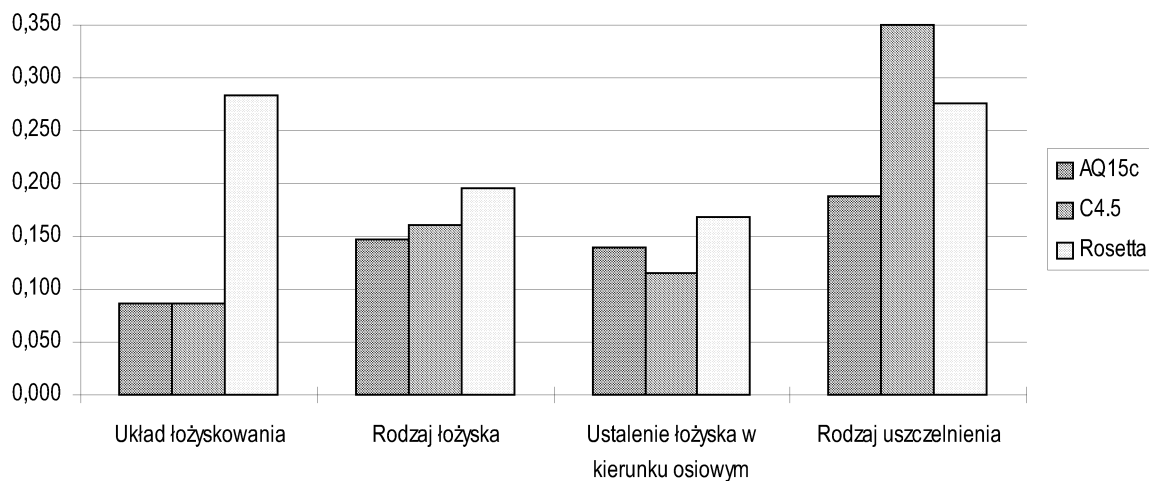
Tabela 32. Wyniki testów dla podzadania doboru uszczelnień (program C4.5)

Wykonane testy	Otrzymane oceny klasyfikacji								
	ε_{ov}	ε_{om}	ε_{co}	κ	α	θ	δ	λ	$ R $
początkowy system informacyjny test techniką <i>leave-one-out</i>	0,350	0,392	0,094	10,67	10,07	-0,06	0,04	2,40	15
test kolejności atrybutów test techniką <i>leave-one-out</i>	0,306	0,341	0,081	10,67	10,27	-0,04	0,04	2,47	15
test kolejności przykładów test techniką <i>leave-one-out</i>	0,350	0,396	0,096	10,67	10,07	-0,06	0,04	2,40	15
początkowy system informacyjny oraz przykłady specjalisty	0,342	0,250	0,121	wyniki jak dla początkowego systemu informacyjnego					

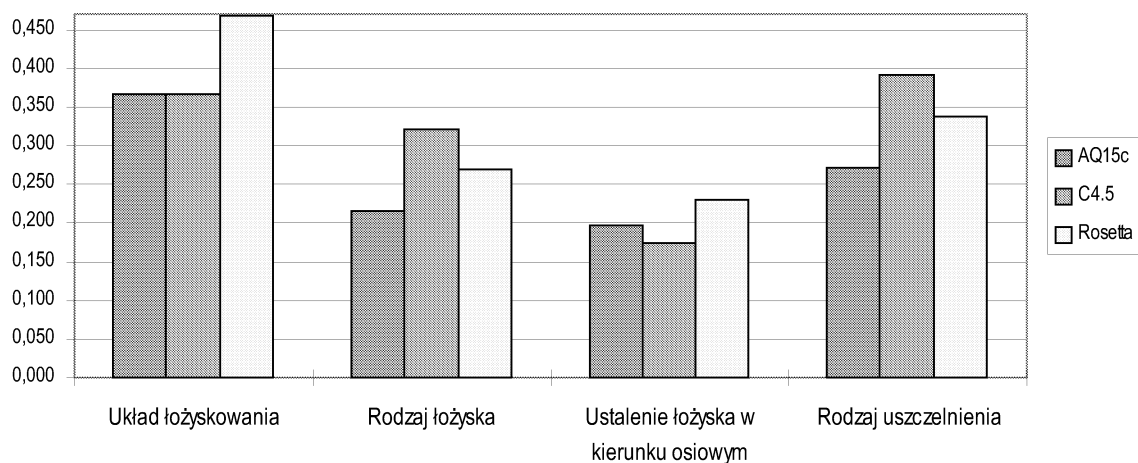
Tabela 33. Wyniki testów dla podzadania doboru uszczelnień (program Rosetta)

Wykonane testy	Otrzymane oceny klasyfikacji								
	ε_{ov}	ε_{om}	ε_{co}	κ	α	θ	δ	λ	$ R $
początkowy system informacyjny test techniką <i>leave-one-out</i>	0,275	0,337	0,071	2,00	3,02	0,34	0,18	2,31	80
test kolejności atrybutów test techniką <i>leave-one-out</i>	0,256	0,320	0,065	2,29	3,40	0,33	0,16	2,31	70
test kolejności przykładów test techniką <i>leave-one-out</i>	0,287	0,361	0,076	2,00	3,02	0,34	0,18	2,31	80
początkowy system informacyjny oraz przykłady specjalisty	0,708	0,773	0,155	wyniki jak dla początkowego systemu informacyjnego					

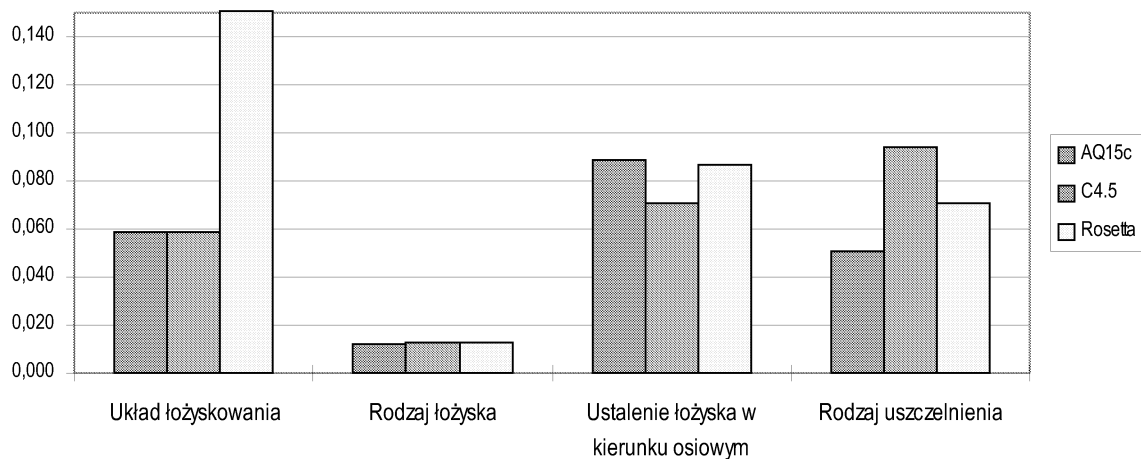
Kolejne rysunki (Rys. 24. ÷ Rys. 31.) przedstawiają oceny błędów klasyfikacji ε_{ov} , ε_{om} , ε_{co} a także oceny zbiorów reguł κ , α , θ , δ , oraz λ uzyskane z zastosowaniem programów AQ15c, C4.5 i Rosetta dla poszczególnych zadań projektowych przy przyjętym początkowym systemie informacyjnym. Na podstawie wyników zauważyć można, iż nie jest możliwe określenie, z zastosowaniem którego programu otrzymać można najniższe błędy klasyfikacji i najlepsze oceny zbiorów reguł. Zauważyć także można, że liczba wygenerowanych reguł (Rys. 32) jest w pewnym stopniu zależna od liczby przykładów uczących oraz liczby atrybutów.



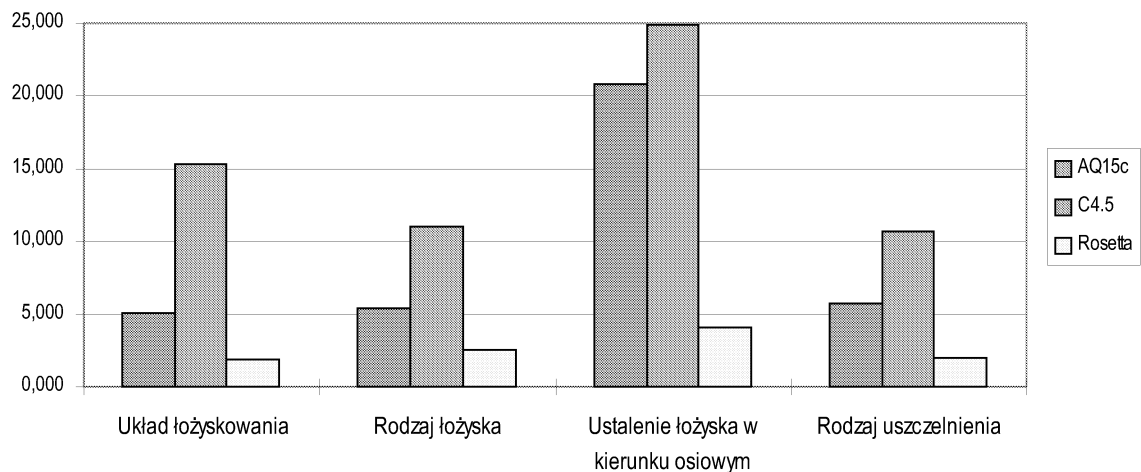
Rys. 24. Porównanie łącznego błędu względnego ε_{ov} dla poszczególnych podzadań projektowania węzłów łożyskowych (początkowy system informacyjny)



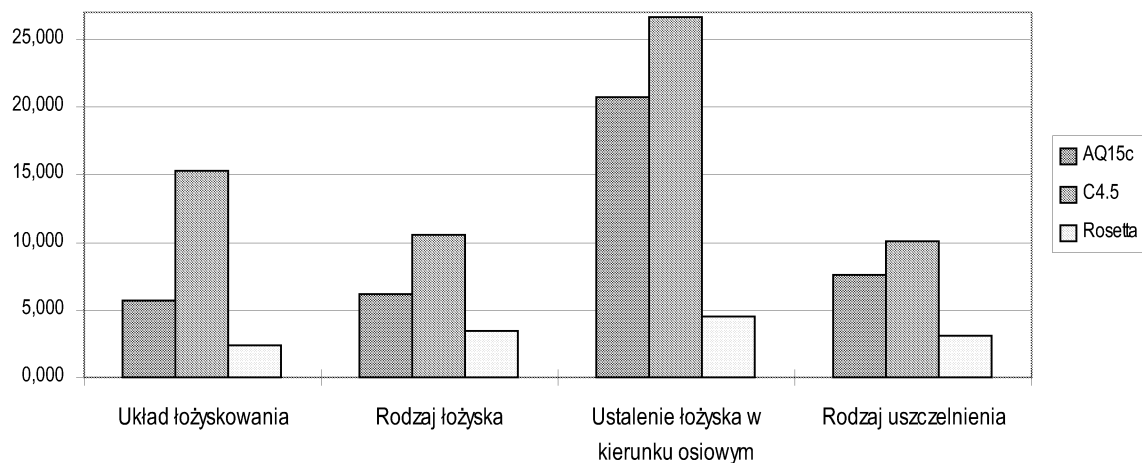
Rys. 25. Porównanie względnego błędu pominięcia ε_{om} dla poszczególnych podzadań projektowania węzłów łożyskowych (początkowy system informacyjny)



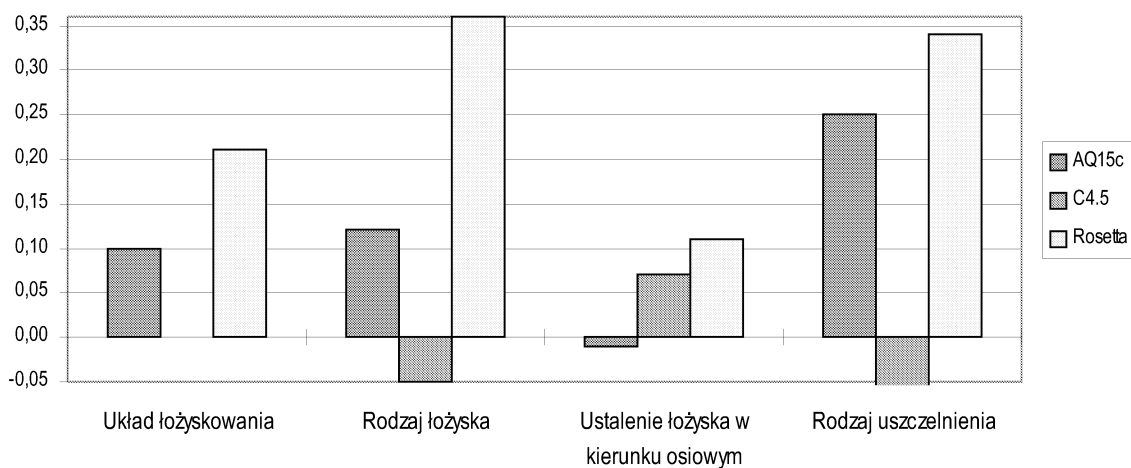
Rys. 26. Porównanie względnego błędu niesłusznego zaliczenia ε_{co} dla poszczególnych podzadań projektowania węzłów łożyskowych (początkowy system informacyjny)



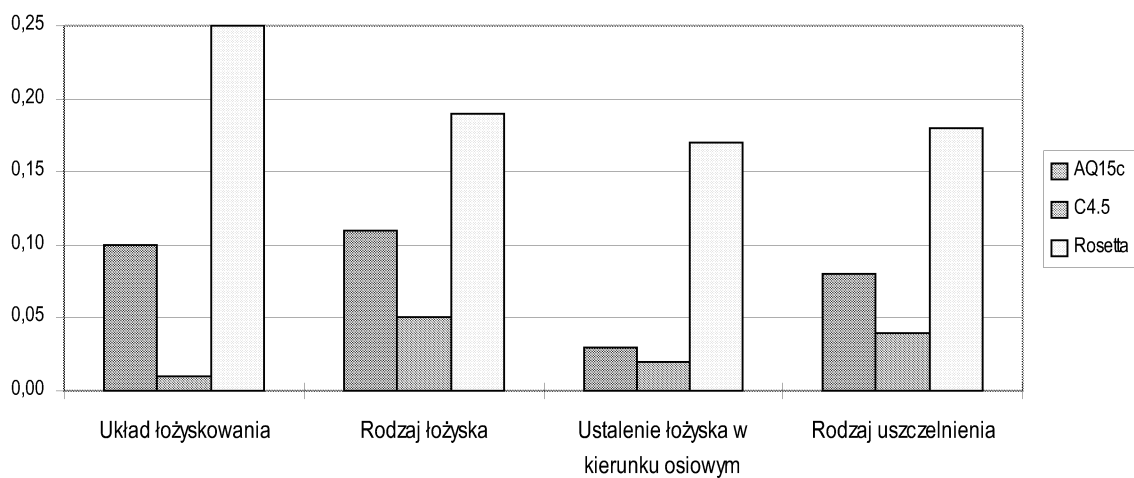
Rys. 27. Porównanie stopni uogólnienia wiedzy κ dla poszczególnych podzadań projektowania węzłów łożyskowych (początkowy system informacyjny)



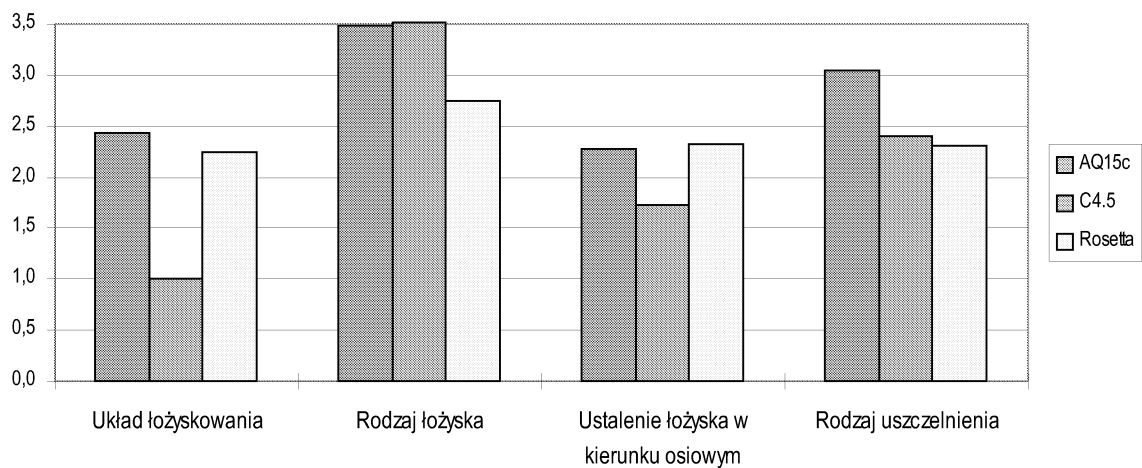
Rys. 28. Porównanie średniego pokrycia α dla poszczególnych podzadań projektowania węzłów łożyskowych (początkowy system informacyjny)



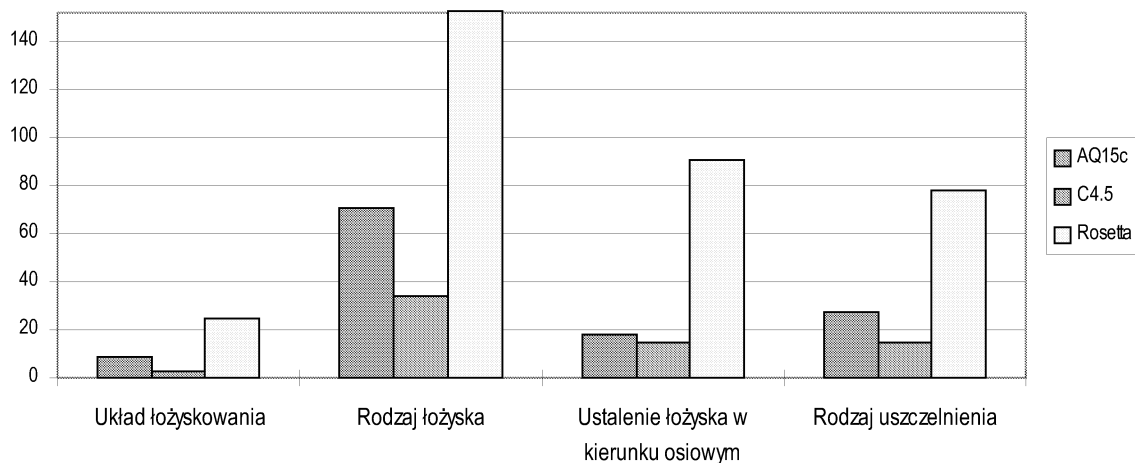
Rys. 29. Porównanie stopni nadmiarowości pokryć θ dla poszczególnych podzadań projektowania węzłów łożyskowych (początkowy system informacyjny)



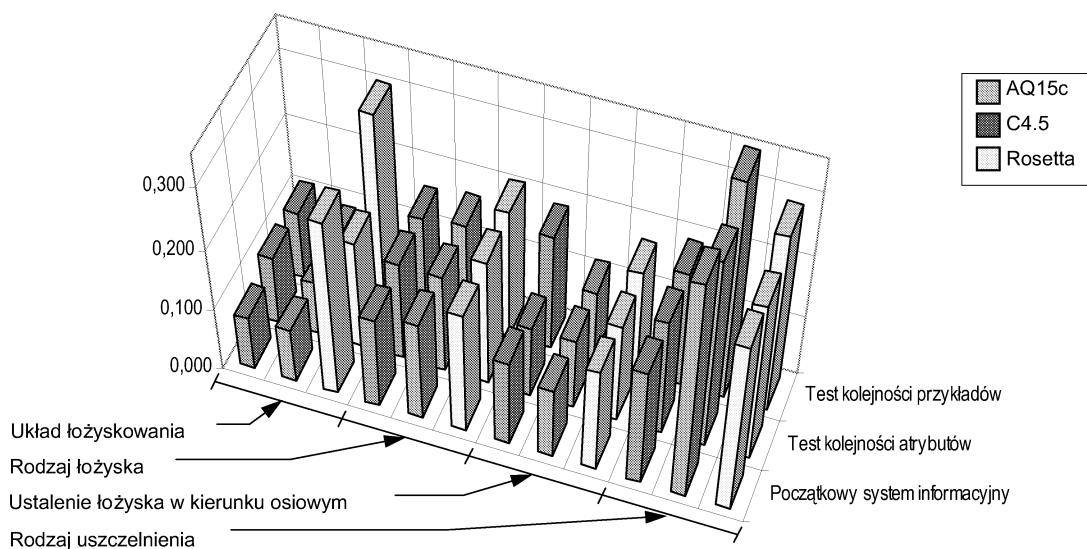
Rys. 30. Porównanie stopni kompresji wiedzy δ dla poszczególnych podzadań projektowania węzłów łożyskowych (początkowy system informacyjny)



Rys. 31. Porównanie złożoności reguł λ dla poszczególnych podzadań projektowania węzłów łożyskowych (początkowy system informacyjny)



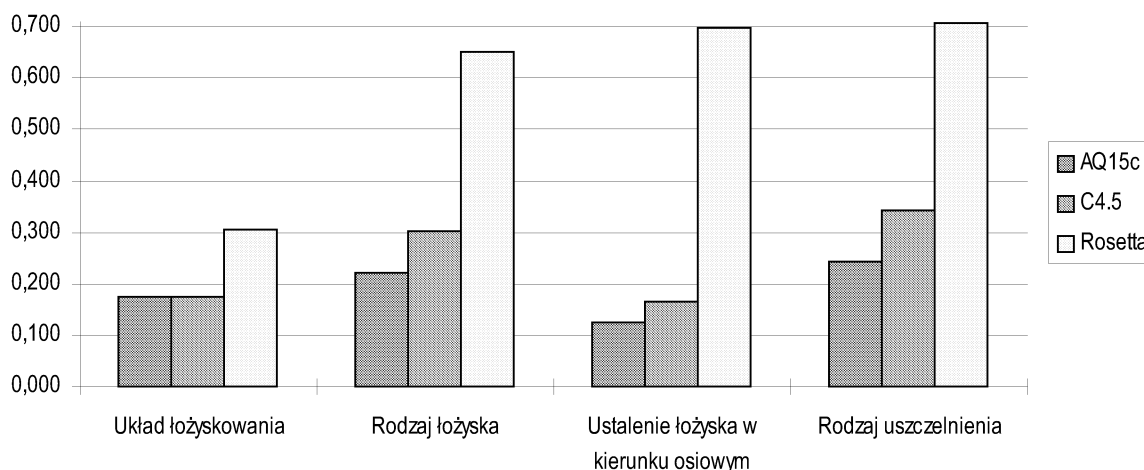
Rys. 32. Porównanie średniej liczby wygenerowanych reguł w poszczególnych testach dla podzadań projektowania węzłów łożyskowych (początkowy system informacyjny)



Rys. 33. Porównanie łącznego błędu względnego ε_{ov} dla poszczególnych testów

Rys. 33. przedstawia porównanie wartości oceny klasyfikacji ε_{ov} uzyskanych we wszystkich zadaniach projektowych z zastosowaniem testu kolejności atrybutów i testu kolejności przykładów. Przeprowadzenie wspomnianych testów powodowało prawie dla

każdego zadania projektowego zmianę wartości ε_{ov} . W nielicznych przypadkach (program C4.5 i zadania: doboru układu łożyskowania oraz doboru sposobu ustalenia osiowego łożyska a także program AQ15c i zadanie doboru uszczelnień) wartości oceny klasyfikacji nie uległy zmianie po przeprowadzeniu testów kolejności.



Rys. 34. Porównanie wyników błędów klasyfikacji ε_{ov} przykładów testowych dla poszczególnych podzadań projektowania węzłów łożyskowych

Rys. 34. ukazuje wyniki klasyfikacji przykładów testowych pochodzących od specjalisty-projektanta. W każdym zadaniu projektowym najgorzej klasyfikowane były przykłady na podstawie reguł pozyskanych programem *Rosetta*. Wskazuje to na zbytne dopasowanie tych reguł do przykładów uczących. Najmniej przykładów błędnie sklasyfikowanych otrzymano z zastosowaniem programu *AQ15c*, mimo że oceny ε_{ov} , ε_{om} oraz ε_{co} otrzymane w poprzednich testach są wyższe od tych uzyskanych z zastosowaniem programu *C4.5*.

6.6.2 Dyskusja uzyskanych wyników

Oceny błędów klasyfikacji ε_{ov} , ε_{om} oraz ε_{co} są miarami poprawności klasyfikacji przykładów testowych, a tym samym poprawności merytorycznej zbioru reguł. Miary te mają decydujące znaczenie przy ocenianiu zbioru reguł i wyborze jednej z metod pozyskiwania wiedzy. W przeprowadzonych badaniach przy przyjętym początkowym systemie informacyjnym wartości uzyskanych błędów różniły się dla poszczególnych zadań projektowych i zastosowanych programów. Przy doborze:

- układu łożyskowania najmniejsze wartości błędów ε_{ov} , ε_{om} oraz ε_{co} uzyskano w wyniku zastosowania programu *AQ15c* i *C4.5*, a największe - programu *Rosetta*,

- *rodzaju łożysk* najniższe wartości błędów uzyskano w wyniku zastosowania programu *AQ15c*, a najwyższe - programu *Rosetta*,
- *sposobu ustalenia łożyska w kierunku osiowym* najmniejsze wartości błędów ε_{ov} , ε_{om} oraz ε_{co} uzyskano w wyniku zastosowania programu *C4.5*, a największe - programu *Rosetta*,
- *uszczelnień* najniższe wartości błędów uzyskano w wyniku zastosowania programu *AQ15c*, a najwyższe - programu *C4.5*.

Analizując uzyskane wyniki można stwierdzić, że oceny błędów klasyfikacji w dużym stopniu zależą od zgromadzonego zbioru przykładów uczących. Zauważyć też można, że prawie dla wszystkich zadań projektowych program *Rosetta* wykazywał najmniejszą skuteczność klasyfikacji.

Dla początkowego systemu informacyjnego i dla wszystkich zadań projektowych, najwyższe wartości stopnia uogólnienia wiedzy κ uzyskano w wyniku zastosowania programu *C4.5*, a najniższe - programu *Rosetta*. Oznacza to, że reguły pozyskane programem *Rosetta* są najmniej ogólne.

Podobnie jak dla miary omówionej poprzednio, najwyższe wartości średniego pokrycia α uzyskano w wyniku zastosowania programu *C4.5*, a najniższe - programu *Rosetta*. Można wnioskować, że w przypadku programu *Rosetta* liczba przykładów uczących zastosowana do uogólnienia reguł była najniższa.

Dla początkowego systemu informacyjnego, przy doborze:

- *układu łożyskowania, rodzaju łożyska tocznego oraz uszczelnień* najniższe wartości stopnia nadmiarowości pokryć θ uzyskano w wyniku zastosowania programu *C4.5*, a najwyższe - programu *Rosetta*,
- *sposobu ustalenia łożyska w kierunku osiowym* najmniejszą wartość stopnia nadmiarowości pokryć uzyskano w wyniku zastosowania programu *AQ15c*, a największą - programu *Rosetta*.

Analizując uzyskane wyniki, można stwierdzić, że program *Rosetta* generując kolejną regułę stosuje te same przykłady, które już były stosowane do wygenerowania reguł wcześniejszych, co w efekcie powoduje m.in. pozyskanie obszernych zbiorów reguł, które są nadmiernie dopasowane do zbioru przykładów uczących. Jeśli stopień nadmiarowości pokryć przyjmuje wartości ujemne, oznacza to, że zastosowane programy użyły tylko części przykładów uczących do wygenerowania zbiorów reguł.

Przy przyjętym początkowym systemie informacyjnym oraz dla wszystkich zadań projektowych, najmniejsze wartości stopnia kompresji wiedzy δ uzyskano w wyniku zastosowania programu *C4.5*, a największe - programu *Rosetta*. Można wnioskować, że program *Rosetta* generuje zbyt dużą liczbę reguł i/lub generuje reguły, których część

przesłankowa składa się z wielu warunków. W wyniku analizy zbiorów reguł pozyskanych programem *Rosetta* stwierdzono bardzo dużą liczbę reguł o przesłankach o niewielkiej liczbie warunków.

W przeprowadzonych badaniach dla przyjętego początkowego systemu informacyjnego, przy doborze:

- *układu łożyskowania* najwyższą wartość złożoności reguł λ uzyskano w wyniku zastosowania programu *AQ15c*, a najniższą - programu *C4.5*,
- *rodzaju łożysk* najwyższe wartości złożoności reguł uzyskano w wyniku zastosowania programu *AQ15c* oraz *C4.5*, a najniższą - programu *Rosetta*,
- *sposobu ustalenia łożyska w kierunku osiowym* największe wartości λ uzyskano w wyniku zastosowania programu *AQ15c* oraz *Rosetta*, a najmniejsze - programu *C4.5*,
- *rodzaju uszczelnień* największą wartość złożoności reguł uzyskano w wyniku zastosowania programu *AQ15c*, a wartość najmniejszą - programu *Rosetta*.

Niższe wartości λ oznaczają, że pozyskane reguły są dłuższe i mogą powodować trudności w interpretacji.

Sumując przedstawioną dyskusję uzyskanych miar błędów, stwierdzono, że najmniej skutecznym programem jest *Rosetta*. Dodatkowa analiza kolejnych ocen potwierdziła, że program ten:

- a) generuje zdecydowanie najliczniejsze zbiory reguł,
- b) generuje reguły najmniej ogólne i zbyt dopasowane do zbioru przykładów uczących,
- c) wielokrotnie stosował te same przykłady do pozyskiwania kolejnych reguł.

Z zalet programu *Rosetta* należy wymienić generowanie reguł o przesłankach zbudowanych z niewielkiej liczby warunków.

Zastosowanie odpowiednich testów w większości przypadków ujawniło wrażliwość algorytmów użytych przez zastosowane programy na wprowadzanie zmian w zbiorze przykładów uczących przy zachowanym systemie informacyjnym. W wielu sytuacjach mogło to wiązać się z błędami zaokrągleń wyznaczanych przez programy stopni pewności zastosowania danego rozwiązania projektowego podczas klasyfikacji przykładu testowego. Zauważono także, że różnice ocen błędów klasyfikacji były niewielkie. W wielu przypadkach pozyskiwano różną liczbę reguł. Kiedy generowane były takie same liczby reguł, często reguły te różniły się od wzorcowych (uzyskanych dla początkowego systemu informacyjnego) liczbą warunków w części przesłankowej. Przy doborze:

- 1) *układu łożyskowania*, wrażliwość na zmiany w zbiorze uczącym wykazały programy *AQ15c* oraz *Rosetta* po wykonaniu testów kolejności atrybutów i kolejności przykładów,
- 2) *rodzaju łożyska*, wrażliwość wykazały wszystkie zastosowane programy: *AQ15c*, *C4.5* oraz *Rosetta*,
- 3) *sposobu ustalenia łożyska w kierunku osiowym*, wrażliwość wykazały programy:
 - *AQ15c* - po wykonaniu testów kolejności atrybutów oraz przykładów,
 - *Rosetta* - po wykonaniu testu kolejności atrybutów,
- 4) *rodzaju uszczelnień*, wrażliwość wykazały programy:
 - *C4.5* - po wykonaniu testów kolejności atrybutów,
 - *Rosetta* - po wykonaniu wszystkich testów.

Analizując wyniki przeprowadzonych testów, można stwierdzić, że wrażliwość algorytmów na zmiany kolejności atrybutów oraz przykładów, w dużym stopniu zależą od zgromadzonego zbioru przykładów uczących oraz od porządku atrybutów i samych przykładów. Może to powodować trudności w ustaleniu początkowego systemu informacyjnego w celu uzyskania najniższych ocen błędów.

Kolejnym rodzajem testów była próba klasyfikacji przykładów testowych pochodzących od specjalistów. Klasyfikacja tych przykładów zależna była od poprawności merytorycznej pozyskanych indukcyjnie zbiorów reguł. Dla wszystkich zadań projektowych oraz wszystkich programów błędy klasyfikacji przykładów testowych pochodzących od specjalistów były wyższe od błędów uzyskanych techniką *leave-one-out*. Tylko dla zadań doboru rodzaju łożyska, doboru sposobu ustalenia łożyska w kierunku osiowym oraz doboru uszczelnień oceny błędów uzyskane z zastosowaniem programu *Rosetta* bardzo odbiegały od błędów ε_{ov} , ε_{om} oraz ε_{co} uzyskanych z zastosowaniem techniki *leave-one-out*. Wysokie błędy klasyfikacji przykładów specjalisty praktycznie dyskwalifikują reguły pozyskane programem *Rosetta* ze względu na ich zbytne dopasowanie do zbioru uczącego i małą ogólność.

Dla programu *AQ15c* możliwe było użycie reguł wstępnych (tzw. uczenie przyrostowe). Postawiono hipotezę, że jeśli przygotowany zbiór przykładów uczących jest „zgodny” z regułami wstępnymi (pochodzących od specjalisty), to w wyniku działania zostaną uzyskane „lepsze” reguły, na podstawie których uzyskać można niższe błędy klasyfikacji. Po przeprowadzeniu testów oceny błędów z zastosowaniem reguł wstępnych nieznacznie zwiększyły się. Z drugiej strony, liczba pozyskanych reguł zmniejszyła się, co można wytłumaczyć zwiększeniem ogólności tych reguł poprzez zastosowanie reguł wstępnych. Niemniej jednak potwierdzono, iż pozyskane zbiory reguł wygenerowane na podstawie przykładów uczących zgromadzonych z różnych źródeł są równie poprawne merytorycznie jak reguły pozyskane od specjalisty.

RAPORT z BAZY WIEDZY (Katedra Podstaw Konstrukcji Maszyn Pol. Śl.)

Reguła 1.1:

Jeżeli nie występuje rozszerzalność cieplna wału
 i obciążenie osiowe zmienia kierunek swego działania
 i miejsce przyłożenia obciążenia głównego znajduje się pomiędzy podporami
 lub obciążenie przyłożone jest wysięgowo (poza podporami)
to zastosuj układ łożyskowania łożysko ustalające - łożysko ustalające.
...

Reguła 2.1:

Jeżeli średnica wału zawiera się w przedziale od średniej do bardzo dużej
 i występuje ograniczenie miejsca w kierunku osiowym w granicach od średniego do
 bardzo dużego
 i występuje ograniczenie miejsca w kierunku promieniowym w granicach od bardzo
 małego do średniego
 i udział obciążenia osiowego w obciążeniu całkowitym zawiera się w przedziale od
 czystego obciążenia promieniowego do obciążenia promieniowego z 124% udziałem
 obciążenia osiowego
to zastosuj łożysko kulkowe stożkowe.
...

Reguła 3.1:

Jeżeli względne obciążenie osiowe ma wartość średnią
 i wybranym łożyskiem jest łożysko baryłkowe dwurzędowe
 i obciążenie wiruje z pierścieniem zewnętrznym
to zastosuj ustalenie osiowe łożyska w oprawie, a na wale nie stosuj ustalenia osiowego.
...

Reguła 4.1:

Jeżeli prędkość obwodowa w miejscu kontaktu uszczelnienia z wałem jest średnia
 i występuje kropłowe działanie wody i zanieczyszczenie powietrza jest silne
to zastosuj uszczelnienie stykowe oraz bezstykowe.
...

Rys. 35. Fragmenty raportów zawierających reguły projektowania

6.6.3 Wyniki oceny zbiorów reguł przez specjalistów-projektantów

W procesie pozyskiwania wiedzy indukcyjnymi metodami „uczenia maszynowego” wygenerowano odpowiednie zbiory reguł. Reguły dotyczące poszczególnych zadań projektowych zostały przedstawione do oceny specjalistom-projektantom. Tabela 34. przedstawia ankietę (opis w punkcie 5.2.2). W ankiecie tej nie uwzględniono uwag specjalisty. Oceny reguł dokonano na podstawie raportów z bazy reguł. Rys. 35. przedstawia przykład wygenerowanego raportu dla specjalistów. Na rysunku tym reguły z numeracją: 1.x dotyczą zadania doboru układu łożyskowania, 2.x dotyczą zadania doboru łożyska, 3.x dotyczą zadania doboru sposobu ustalenia łożyska w kierunku osiowym, 4.x dotyczą zadania doboru uszczelnień, gdzie „x” oznacza kolejny numer reguły. Tabela 35. przedstawia średnie wartości ocen (opracowane na podstawie ankiet) dla reguł pozyskanych różnymi programami.

W wyniku analizy zbiorów reguł, a także wybranych do opisu rozwiązań projektowych zbiorów cech i ich wartości, specjaliści wyciągnęli wiele szczegółowych wniosków i krytycznych uwag. Z najważniejszych z nich należy wymienić poniższe:

- 1) Bardzo trudne jest oddzielne rozpatrywanie dwóch podzadań projektowych: doboru układu łożyskowania oraz doboru rodzaju łożyska. Zadania te winny być traktowane wspólnie, to znaczy, dobierając układ łożyskowania należy jednocześnie dobierać rodzaj łożyska. Wielokrotnie wraz z doborem układu łożyskowania oraz doborem rodzaju łożyska tocznego wybierany jest sposób ustalenia łożyska w kierunku osiowym. Jedynym zadaniem, które może być traktowane oddzielnie, jest dobór rodzaju uszczelnień.
- 2) W wykazie atrybutów wyszczególnionych w zadaniu doboru rodzaju łożyska nie uwzględniono atrybutu „koszt łożyska”, który ma często decydujące znaczenie dla wyboru danego łożyska.
- 3) Lista wyszczególnionych łożysk tocznych wymaga uzupełnienia o brakujące rodzaje, np. o łożysko walcowe wzdłużne, łożysko stożkowe 4-rzędowe.
- 4) Przy doborze rodzaju uszczelnień specjalista zidentyfikował nową wartość „błoto”, która stanowić może wartość zarówno cechy „działanie wody” jak i „zanieczyszczenie powietrza”.
- 5) Lista wyszczególnionych uszczelnień jest niezrozumiała dla specjalisty i wymaga dodatkowego objaśnienia lub rozbicia grup połączonych rodzajów uszczelnień na podgrupy bardziej szczegółowe.
- 6) Brak wartości „skośny” atrybutu „układ wału” dla zadania doboru rodzaju uszczelnień.

- 7) Specjalista potwierdził jeden z wniosków autora, iż zbiór reguł wygenerowany z zastosowaniem programu *Rosetta* był zbyt obszerny oraz jednocześnie szczegółowy (reguły były zbyt dopasowane do zbioru przykładów uczących), co bardzo utrudniało ocenę tych reguł.

Tabela 34. Ankieta z ocenami reguł wypełnionej przez specjalistę dla zadania doboru układu łożyskowania

Nr reguły	Zgadzam się (5)	Raczej się zgadzam (4)	Nie mam zdania (3)	Raczej się nie zgadzam (2)	Nie zgadzam się (1)	Nie rozumiem treści reguły (0)	Uwagi oceniającego
1.1					√		
1.2					√		
1.3	√						
1.4		√					
1.5				√			
1.6				√			
1.7				√			
1.8				√			
1.9					√		

Wymienione tu wnioski i uwagi oraz wiele innych spostrzeżeń, stanowiły dla autora cenną informację. Zostaną one uwzględnione w dalszych badaniach nad wspomaganie prac o charakterze rutynowym w dziedzinie projektowania łożyskowania.

Tabela 35. Średnie oceny reguł

Zastosowane środki programowe	Zadanie projektowe			
	Układ łożyskowania	Rodzaj łożyska	Sposób ustalenia łożyska w kierunku osiowym	Rodzaj uszczelnień
<i>AQ15c</i>	2,22	2,14	3,51	3,39
<i>C4.5</i>	4,66	2,88	3,66	3,46
<i>Rosetta</i>	1,18	1,03	1,33	1,36

7. ZASTOSOWANIA POZYSKANEJ WIEDZY PROJEKTOWEJ DO WSPOMAGANIA PROJEKTOWANIA RUTYNOWEGO

Opracowane i wdrożone środki do wspomaganie przebiegu procesu pozyskiwania wiedzy oraz środki weryfikacji metod pozyskiwania wiedzy zostały zastosowane do budowy baz wiedzy. Zbudowane bazy zostały użyte w opracowanym przez autora systemie doradczym *RollEx* (ang. *Designing of **R**olling **B**earing **A**rrangement - **E**xpert **S**ystem*). System jest przeznaczony do wspomaganie projektanta/konstruktora przy rozwiązywaniu zadań projektowania łożyskowania tocznego. W rozdziale opisano także możliwość współpracy systemu z oprogramowaniem wspomagającym sporządzanie dokumentacji rysunkowej.

7.1 Założenia do systemu doradczego *RollEx*

Wstępne założenia projektowe opracowane przez autora zakładały, że będzie to system z więcej niż jedną bazą wiedzy. Bazy tego systemu powinny zawierać wiedzę pozyskaną różnymi metodami (metodami indukcyjnymi, od specjalistów lub poprzez połączenie ze sobą różnych metod). Taka koncepcja pozwoliła m.in. na ciągłe korzystanie z systemu doradczego w razie wyłączenia z użytkowania jednej lub więcej baz wiedzy (np. w celu aktualizacji lub weryfikacji jednej z baz). Włączenie systemu *RollEx* do wybranego pakietu wspomagającego wykonywanie dokumentacji projektowo-konstrukcyjnej jest jak najbardziej pożądane ze względu na znaczne skrócenie czasu wymaganego na wykonanie prostych obliczeń weryfikacyjnych i łatwiejszy dobór elementów układu łożyskowania.

Przyjęto, że system doradczy zostanie opracowany w języku programowania dostępnym w wielu ośrodkach (niezależnie od zastosowanego systemu operacyjnego). Takie założenie spowodowało jednak rezygnację z graficznego środowiska usprawniającego pracę z takim systemem.

7.2 Ogólny opis systemu

System doradczy *RollEx* został napisany w języku *ANSI C* umożliwiającym zastosowanie systemu na każdym komputerze i pod każdym systemem operacyjnym. Obecna wersja systemu pracuje w trybie tekstowym, co można uznać za wadę.

Autor przeprowadził wiele testów systemu na komputerze klasy IBM-PC w środowisku DOS oraz Windows, a także na komputerze SUN z zainstalowanym systemem operacyjnym SunOS. W przyszłości przewiduje się dodanie nakładki (modułu) środowiska graficznego w celu ułatwienia pracy z systemem.

7.3 Przykład dialogu z użytkownikiem

Poniżej (Rys. 36) przedstawiono przykład dialogu przeprowadzonego przez specjalistę z systemem *RollEx* (w wersji wstępnej) w celu klasyfikacji nowego rozwiązania projektowego. Specjalista odpowiada na kolejne pytania systemu dotyczące wyboru wartości kolejnych cech. Gdy system zgromadzi wszystkie wymagane odpowiedzi, dokonuje przeszukiwania odpowiedniej bazy reguł w celu sklasyfikowania przykładu określonego przez użytkownika systemu. Końcowym wynikiem tego działania jest przedstawienie przez system *RollEx* tabeli zawierającej: nazwę rozwiązania, do którego sklasyfikowano przykład, numer tego rozwiązania w bazie wiedzy, stopień prawdziwości zastosowania wskazanego przez system rozwiązania oraz numer(y) reguł, których części przesłankowe były zgodne z wartościami cech nowego przykładu. W załącznikach do rozprawy przedstawiono pełne nazwy identyfikatorów atrybutów, wartości i rozwiązań projektowych.

```
> Wybierz wartość cechy "sr_walu":
> ? jeśli wartość jest nieznana lub Cię nie interesuje
> 0 b_mala
> 1 mala
> 2 sred
> 3 duza
> 4 b_duza

> (D)laczego?-0,1,...? => 2

> Wybierz wartość cechy "ogr_r":
> ? jeśli wartość jest nieznana lub Cię nie interesuje
> 0 b_male
> 1 male
> 2 sred
> 3 duze
> 4 b_duze

> (D)laczego?-0,1,...? => 1

> Wybierz wartość cechy "ogr_a":
> ? jeśli wartość jest nieznana lub Cię nie interesuje
> 0 b_male
> 1 male
> 2 sred
> 3 duze
> 4 b_duze

> (D)laczego?-0,1,...? => 3

> Wybierz wartość cechy "obc_Fr":
> ? jeśli wartość jest nieznana lub Cię nie interesuje
> 0 b_male
> 1 male
> 2 sred
> 3 duze
> 4 b_duze

> (D)laczego?-0,1,...? => 3

> Wybierz wartość cechy "Fa/Fr":
> ? jeśli wartość jest nieznana lub Cię nie interesuje
> 0 promien
> 1 pr_10_18_os
```

```

> 2 pr_18_35_os
> 3 pr_35_65_os
> 4 pr_65_124_os
> 5 pr_124_236_os
> 6 osiowy

> (D)laczego?-0,1,...? => 0

> Wybierz wartość cechy "ug_walu":
> ? jeśli wartość jest nieznana lub Cię nie interesuje
> 0 b_male
> 1 male
> 2 sred
> 3 duze
> 4 b_duze

> (D)laczego?-0,1,...? => ?

> Wybierz wartość cechy "pr_obr":
> ? jeśli wartość jest nieznana lub Cię nie interesuje
> 0 b_mala
> 1 mala
> 2 sred
> 3 duza
> 4 b_duza

> (D)laczego?-0,1,...? => 3

> Wybierz wartość cechy "zm_kier_obc_os":
> ? jeśli wartość jest nieznana lub Cię nie interesuje
> 0 nie
> 1 tak

> (D)laczego?-0,1,...? => 1

> Szukam rozwiązania w bazie wiedzy. Czekaj chwilę...

> Podany przykład pasuje do reguł(y) w bazie wiedzy.
> Oceniam Twój przykład stosując kryterium_1.

> Nr klasy      Nazwa klasy      St. prawdziwości   Nr reguły
> -----      -
> 14           wal_zp           0.444              1

```

Rys. 36. Przykład dialogu z systemem *RollEx*

7.4 Perspektywy zastosowania systemu

Wiele środków programowych oferuje możliwości wspomaganie wykonywania dokumentacji rysunkowej (**CADD** - zob. rozdział 2.3). Środki te w znacznym stopniu ułatwiają i przyspieszają wykonywanie dokumentacji rysunkowej. Niektóre z programów pozwalają na korzystanie z elektronicznych katalogów (baz danych), zawierających gotowe rysunki poszczególnych znormalizowanych elementów, takich jak łożyska, elementy zabezpieczające łożyska w kierunku osiowym na wale, uszczelnienia i inne. W większości przypadków programy te zaopatrzone są w moduły wykonujące proste obliczenia weryfikujące oraz proponujące wybór danego elementu z dołączonego katalogu

elektronicznego. Moduły te jednak nie umożliwiają wspomagania podejmowania decyzji dotyczących doboru jednego elementu spośród kilku elementów różnego typu.

W tym przypadku istnieje możliwość rozszerzenia zakresu stosowania wspomnianych środków programowych **CADD**. Do budowy modułu wspomagającego dobór elementu spośród kilku możliwych, zastosować można wewnętrzne języki tych programów. Do tych języków należą np. język *AutoLISP* w programie *AutoCAD* lub języki *MDL* (ang. *The MicroStation Development Language*) i *The MicroStation Basic* w programie *MicroStation*.

Przy zastosowaniu programu *AutoCAD* wraz z nakładką *Genius* istnieją duże możliwości włączenia takiego systemu doradczego do całego pakietu. Nakładka *Genius* zawiera elektroniczne katalogi elementów maszyn (w tym łożysk tocznych, uszczelnień i elementów ustalających), których wybór można wspomagać odpowiednim modułem. Konieczna w tym celu staje się zamiana kodu źródłowego systemu *RollEx* na kod środowiska *AutoCAD*-a - *AutoLISP*. Jeśli do integracji systemu doradczego *RollEx* z programem *AutoCAD* zastosuje się interfejs *ADS* (ang. *AutoCAD Development System*), wówczas nie jest konieczna zmiana kodu źródłowego systemu *RollEx*, gdyż *ADS* jest środowiskiem programowym języka *C*.

Równie przydatny w celu rozszerzenia możliwości wspomagania projektowania jest język *MDL*. Podobnie jak *ADS*, *MDL* jest środowiskiem języka *C* i dlatego bez żadnej zmiany (lub po niewielkich zmianach) kodu, można dołączyć odpowiedni system doradczy do programu *MicroStation* jako moduł wspomagający obliczenia weryfikujące łożyska toczne oraz dobór elementów łożyskowania. Dodatkowy język *The MicroStation Basic* umożliwia budowę odpowiednich makr oraz okienek dialogowych, które ułatwiają dialog specjalisty-projektanta z danym narzędziem wspomagającym jego pracę. Wadą pakietu *MicroStation Modeler* jest brak elektronicznego katalogu elementów maszyn, co powoduje konieczność wyszukiwania danych elementów w tradycyjnej literaturze (katalogu).

8. PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Praca jest wynikiem badań autora dotyczących porównania różnych indukcyjnych metod „uczenia maszynowego” do pozyskiwania wiedzy projektowej, mającej zastosowanie do rozwiązywania zadań o charakterze rutynowym. Pozyskiwanie dotyczyło wiedzy z zakresu projektowania węzłów łożyskowych. Zadanie to obejmowało kilka mniejszych zadań podrzędnych, takich jak: dobór układu łożyskowania, dobór rodzaju łożyska tocznego, dobór sposobu ustalenia łożyska w kierunku osiowym oraz dobór uszczelnień. Uzyskane wyniki badań pozwalają na sformułowanie wniosków, które zostały przedstawione w niniejszym rozdziale.

Sformułowany we wstępie cel rozprawy został osiągnięty poprzez:

- szczegółową identyfikację przedmiotu badań (w zakresie pozyskiwania wiedzy projektowej) obejmującą analizę procesu projektowania i obiektu projektowania, opis rodzajów projektowania oraz określenie problemu badawczego;
- opis wybranych metod reprezentacji danych i wiedzy projektowej, metod pozyskiwania wiedzy projektowej oraz metod oceny wiedzy już pozyskanej;
- opracowanie i zastosowanie odpowiednich środków umożliwiających realizację badań porównawczych.

W wyniku przeprowadzonych badań porównawczych można określić następujące wnioski główne:

- 1) Metody indukcyjne umożliwiły pozyskanie wiedzy projektowej, którą zastosowano do wspomaganego rozwiązywania zadań o charakterze rutynowym.
- 2) Wiedza projektowa została pozyskana na podstawie przykładów, których źródłami były: publikacje, dokumentacja projektowo-konstrukcyjna i specjaliści.
- 3) Wykazano na podstawie przykładu dotyczącego pozyskiwania wiedzy z hipotezami wstępnymi, że wiedza pozyskana z różnych źródeł może być łączona.

Słuszność tezy A została wykazana w wyniku zastosowania odpowiednich metod indukcyjnych do przykładowego zadania dotyczącego projektowania węzłów łożyskowych. Przydatność tych metod zweryfikowano używając odpowiednich miar ocen, przykładów testowych oraz korzystając z wiedzy specjalistów.

Słuszność tezy B została wykazana dzięki uzyskaniu m.in. niskich ocen błędów klasyfikacji przykładów testowych na podstawie reguł pozyskanych z różnych źródeł, jak: publikacje, dokumentacja projektowo-konstrukcyjna oraz specjaliści. Dodatkowym potwierdzeniem słuszności tezy B jest uzyskanie takich wyników badań, które w jednoznaczny sposób wskazują, iż wiedza projektowa pozyskana z różnych źródeł może

być łączona, dając wiedzę poprawną merytorycznie oraz że wiedza pochodząca z różnych źródeł nie jest sprzeczna.

W trakcie przeprowadzonych badań autor sformułował wiele wniosków dotyczących m.in. wyników badań porównawczych metod indukcyjnych pozyskiwania wiedzy oraz szczegółów działania zastosowanych programów.

Wnioski dotyczące przeprowadzonych badań porównawczych

- 1) Połączenie zbiorów przykładów zgromadzonych z różnych źródeł wiedzy w wielu przypadkach powodowało zmniejszenie błędu klasyfikacji. Spowodowane to było tym, że zbiory te wzajemnie się uzupełniły o przykłady, których brakowało w poszczególnych podzbiorach. Dzięki temu wygenerowane zostały reguły, na podstawie których więcej przykładów testowych zostało sklasyfikowanych poprawnie.
- 2) Usunięcie kilku przykładów ze zbioru przykładów uczących wielokrotnie powodowało znaczne zmniejszenie błędu klasyfikacji. W usuwanych przykładach zauważono dużą liczbę brakujących wartości cech oznaczonych znakiem „?”. W wielu przykładach liczba nieznanymi wartości cech stanowiła do 50% ogólnej liczby wartości cech w danym przykładzie. Przykłady te miały wpływ na generowane reguły, które były bardzo ogólne. Reguły te natomiast powodowały błędy klasyfikacji przykładów testowych.
- 3) Po wykonaniu testów stwierdzono, iż największe wartości błędów klasyfikacji oraz innych ocen dla wybranych zadań projektowych uzyskano dla wyników programu *Rosetta*.
- 4) Dodatkowa klasyfikacja przykładów pochodzących od specjalistów potwierdziła zbyt duże dopasowanie zbiorów reguł pozyskanych za pomocą programu *Rosetta*.
- 5) Wykonanie odpowiednich testów ujawniło w większości zadań projektowych wrażliwość zastosowanych programów na zmianę kolejności atrybutów oraz przykładów. Różnice w wartościach liczbowych ocen były niewielkie, niemniej jednak autor nie potrafił wcześniej określić takiej kolejności atrybutów oraz przykładów, dla których oceny błędów byłyby najniższe. Może to powodować sytuacje, że inżynier wiedzy może długo poszukiwać przyczyn wysokich błędów klasyfikacji uzyskanych z zastosowaniem poszczególnych programów.

Wnioski dotyczące oprogramowania

- 1) Program *Rosetta* działa w środowisku Windows. Program ma wiele wbudowanych algorytmów indukcji reguł na podstawie zbiorów przybliżonych. Charakteryzują się one długim czasem generowania reguł oraz tym, że wygenerowana liczba reguł jest

większa niż liczba użytych przykładów uczących. Zastosowany w badaniach program *Rosetta* z użyciem algorytmu *Johnsona* powodował generowanie zdecydowanie mniejszej liczby reguł od pozostałych algorytmów i działał najszybciej w porównaniu z innymi możliwymi do wyboru algorytmami opartymi na teorii zbiorów przybliżonych. Niemniej jednak zbiory reguł uzyskiwane w trakcie badań były obszerniejsze od zbiorów reguł uzyskiwanych z zastosowaniem programów *AQ15c* oraz *C4.5*.

- 2) Programy *AQ15c* oraz *C4.5* działają w trybie tekstowym w środowisku Unix. W przeciwieństwie do programu *Rosetta* dawało to możliwość uruchomienia wielu serii kolejnych testów, co skracало czas badań oraz nie wymagało przygotowywania nowych zbiorów testowych po zakończeniu każdego testu (co miało miejsce w przypadku *Rosetty*). Wadą, którą można uznać za mało znaczącą, jest brak interfejsu użytkownika w programach *AQ15c* oraz *C4.5*.
- 3) Program *AQ15c* umożliwia przypisanie typu liniowego atrybutowi jakościowemu o wartościach lingwistycznych. Programy *C4.5* oraz *Rosetta* nie umożliwiają takiego przypisania. W tych programach cechom jakościowym o wartościach lingwistycznych przypisać można tylko typ nominalny. W programach *C4.5* oraz *Rosetta* możliwe jest przypisanie typu liniowego do cechy pod warunkiem użycia ilościowych wartości tej cechy.
- 4) Program *AQ15c* umożliwia wieloznaczną klasyfikację ze wskazaniem wag rozwiązań projektowych, co odpowiada specyfice projektowania. Fakt ten uznany jest przez autora za decydujący w przypadku wyboru odpowiedniego środka do pozyskiwania wiedzy projektowej.

Sumując powyższe wnioski można stwierdzić, że program *Rosetta* umożliwia pozyskanie reguł projektowania, lecz reguły te są zbyt dopasowane do zbioru przykładów uczących i tym samym są mało ogólne, zbiory reguł są natomiast zbyt obszerne, a sam program *Rosetta* jest bardzo wrażliwy na wprowadzenie zmian w zbiorze przykładów uczących. Z przeprowadzonych badań nie wynika, który z pozostałych programów: *AQ15c* czy *C4.5* jest zdecydowanie lepszy przy uwzględnieniu przyjętych kryteriów. Niewielką przewagę posiada program *C4.5*, szczególnie ze względu na niskie wartości błędów klasyfikacji oraz niewielką wrażliwość algorytmu indukcji drzew decyzyjnych na zmiany kolejności atrybutów i przykładów. Niemniej jednak program *AQ15c* posiada dodatkową zaletę, którą jest możliwość zapisywania przykładów, reprezentowanych za pomocą cech o wartościach lingwistycznych (typ **lin**), czego nie umożliwia program *C4.5*.

Oceniając wykonaną pracę, autor uważa, że najważniejszymi i oryginalnymi elementami rozprawy są:

- przygotowanie licznych zbiorów uczących na podstawie zgromadzonej i zanalizowanej dokumentacji projektowo-konstrukcyjnej oraz na podstawie publikacji (zob. rozdział 6.5),
- opracowanie środków wspomagających przygotowanie odpowiednich zbiorów uczących oraz testowanie zbiorów reguł w celu wykonania zaplanowanych badań (zob. punkt 5.1.6),
- opracowanie formularzy „papierowych” umożliwiających pozyskanie wiedzy od specjalistów-projektantów oraz na ocenę wiedzy już pozyskanej przez specjalistów, przy czym ocena następuje z zastosowaniem ankiety (zob. punkty 5.2.1, 5.2.2),
- wprowadzenie dodatkowych miar, jak: stopień uogólnienia wiedzy κ , średnie pokrycie α , stopień nadmiarowości pokryć θ , stopień kompresji wiedzy δ , oraz złożoność reguły λ umożliwiających ocenę zastosowanych metod indukcyjnych (zob. punkt 4.1.2),
- wprowadzenie testów kolejności atrybutów oraz przykładów umożliwiających określenie wrażliwości zastosowanych w badaniach programów na zmiany w zbiorze przykładów uczących (zob. punkty 4.2.3 i 4.2.4).

Autor zamierza kontynuować badania w zakresie pozyskiwania wiedzy metodami indukcyjnymi oraz badania przydatności tych metod do pozyskania wiedzy projektowej. Badania te dotyczyć będą:

- pozyskania nowych zbiorów przykładów we współpracy ze źródłami danych, np. biurami projektowymi,
- szczegółowej analizy zadania projektowania węzłów łożyskowych w celu zmniejszenia liczby podzadań i rozwiązania tego zadania w sposób kompleksowy,
- doboru atrybutów i wartości w celu zmniejszenia wartości ocen błędów klasyfikacji przykładów testowych,
- sposobów kwantowania wartości atrybutów ilościowych na jakościowe,
- integracji opracowanego przez autora systemu doradczego *RollEx* z wybranym oprogramowaniem **CADD** w celu wspomaganie projektowania i sporządzania dokumentacji projektowej.

DODATEK A

Selektywna indukcja reguł poprzez generowanie pokryć

W tej metodzie zbiór przykładów uczących dzielony jest na podzbiory, z których każdy opisuje jedno rozwiązanie projektowe, przy czym dopuszcza się występowanie przykładów niejednoznacznych (ang. *ambiguous*), co jest charakterystyczne dla procesu projektowania. Może to mieć miejsce zwłaszcza w wypadku zgromadzenia zbioru przykładów z różnych źródeł (np. od różnych specjalistów) lub zgrubnego kwantowania i kodowania wartości ilościowych cech, a także wtedy, kiedy przykład może opisywać więcej niż jedno rozwiązanie projektowo-konstrukcyjne. Jednym z możliwych rozwiązań sytuacji, gdy do dwóch różnych rozwiązań projektowych przypisano identyczny przykład, jest traktowanie wszystkich takich samych przykładów przypisanych do innych rozwiązań jako przykładów pozytywnych.

Celem procesu generowania pokryć jest utworzenie nowych hipotez poprawnie opisujących zbiór przykładów przypisanych do danego rozwiązania projektowego i jednocześnie wykluczających przykłady z pozostałych podzbiorów nieprzypisane do tych rozwiązań (tak zwane kontrprzykłady). Hipotezy te zapisywane są jako koniunkcje warunków, zbudowanych dla wartości atrybutów.

A.1 Algorytm indukcji reguł

Algorytm A^q indukcji reguł [Michalski, 1969] można przedstawić następująco [Cholewa, Pedrycz, 1987]. Przyjmujemy, że dany jest skończony zbiór n przykładów E , które będą podlegać klasyfikacji. Załóżmy, że w tym zbiorze możemy wyróżnić podzbiór E^1 przykładów przypisanych do jednego rozwiązania projektowego x_1 i podzbiór E^0 przykładów nie przypisanych do tego rozwiązania a przypisanych do rozwiązania x_0 . Ponadto podzbiory E^1 i E^0 są rozłączne. Przykłady są reprezentowane za pomocą wartości wybranych atrybutów przy czym dziedziną j -tego atrybutu a_j składa się z dyskretnych wartości:

$$\text{dom}(a_j) = \{v_{j1}, \dots, v_{jt_j}\} \quad (\text{A.1})$$

gdzie: t_j - liczba wartości j -tego atrybutu,
 j - indeks atrybutu.

Przykłady przypisane do danych rozwiązań zapisuje się w postaci iloczynu logicznego warunków

$$e_i = [a_1 = v_{1i_1}] \wedge [a_2 = v_{2i_2}] \wedge \dots \wedge [a_j = v_{ji_j}] \quad (\text{A.2})$$

gdzie $i = 1, \dots, |E|$ oraz $v_{ki_k} \in \text{dom}(a_k)$. W omawianym algorytmie, dla każdego przykładu e_i ze zbioru przykładów uczących, iteracyjnie tworzone są różnice

$$d_i = e_i^1 \theta e_i^0 \quad (\text{A.3})$$

ze wszystkimi kontrprzykładami. Różnice uzyskuje się poprzez eliminowanie z opisu przykładu e_i^1 wartości cech występujących w opisie przykładu e_i^0 . Wówczas każdy warunek różnicy d_i opisuje przykład e_i^1 i nie opisuje e_i^0 . Następnie w omawianej metodzie buduje się zbiór wszystkich możliwych pokryć C_l , $l = 1, \dots, l_{max}$ utworzonych dla poszczególnych rozwiązań projektowych, wybierając po jednym warunku z każdej różnicy i łącząc je każdy z każdym. Do otrzymanych w ten sposób pokryć C_l stosuje się operacje uogólniania, polegające m.in. na odrzucaniu powtarzających się warunków lub odrzucaniu powtarzających się pokryć. Jeśli do każdego z uzyskanych pokryć dołączymy cechę decyzyjną z nazwą (wartością) rozwiązania projektowego, dla którego zostały utworzone poszczególne pokrycia, otrzymamy wówczas zbiór reguł dla tego rozwiązania projektowego.

Program AQ15 ([Hong, Mozetic, Michalski, 1986], [Wnek, *et al.*, 1995]), w którym zastosowano opisywaną metodę generowania pokryć, umożliwia określenie sposobu traktowania przykładów niejednoznacznych. Przykład niejednoznaczny może być traktowany jako przykład pozytywny, to znaczy przedstawiający dane rozwiązanie projektowe, można także traktować ten przykład jako negatywny (kontrprzykład) lub nie brać przykładu niejednoznacznego pod uwagę w trakcie generowania pokryć.

A.2 Klasyfikowanie nowych przykładów

Można zauważyć, że dla danego przykładu występują następujące możliwości (na podstawie [Grzymała-Busse, 1994]):

- 1) wartości cech danego przykładu nie spełniają wszystkich warunków tworzących przesłanki w poszczególnych regułach,
- 2) wartości cech danego przykładu spełniają wszystkie warunki tworzące przesłankę w pojedynczej regule, przykład może więc być zaklasyfikowany do rozwiązania, wskazanego przez konkluzję reguły,
- 3) wartości cech danego przykładu spełniają całkowicie warunki tworzące przesłanki kilku reguł (o tych samych konkluzjach), przykład może być więc sklasyfikowany do rozwiązania projektowego wskazanego przez konkluzje tych reguł z uwzględnieniem stopnia pewności tych reguł,
- 4) wartości cech danego przykładu spełniają całkowicie warunki tworzące przesłanki kilku reguł (o różnych konkluzjach), przykład może być więc zaklasyfikowany do rozwiązań projektowych wskazywanych przez konkluzje tych reguł.

W przypadku 4. należy zdecydować, do którego ze wskazanych rozwiązań projektowych należy przykład. W celu umożliwienia oszacowania stopnia pewności klasyfikacji przykładów zgodnie z powyższymi punktami w programie AQ15c zastosowano metodę zwaną *INLEN* (na podstawie [Wnek *et al.*, 1995]):

- A. Jeśli wartości cech opisujących dany przykład spełniają warunki tworzące przesłankę reguły, wówczas oblicza się stopień pewności zastosowania rozwiązania projektowego x . Stopień ten jest równy ilorazowi liczby przykładów użytych do wygenerowania reguły przez liczbę wszystkich przykładów w zbiorze przypisanych do tego samego rozwiązania projektowego. Gdy wartości cech danego przykładu spełniają warunki tworzące przesłanki więcej niż jednej reguły (o tych samych konkluzjach), wówczas stopień pewności obliczany jest jako suma stopni pewności dla każdej z reguł interpretowanych jako prawdopodobieństwa dwóch zdarzeń, tj. $P(x_1) + P(x_2) - (P(x_1) \cdot P(x_2))$ (zależność tę można uogólnić na $n > 2$ zdarzeń);
- B. Jeśli wartości cech opisujących dany przykład dla każdej reguły z całego zbioru reguł nie spełniają warunków tworzących przesłanki tych reguł, wówczas stopień pewności zastosowania rozwiązania projektowego x jest sumą stopni pewności każdej z reguł o tych samych konkluzjach. Suma ta obliczana jest jak w przypadku poprzednim. Stopień pewności zastosowania danego rozwiązania równy jest stosunkowi liczby pojedynczych warunków przesłanki reguły (wartości cech danego przykładu muszą spełniać te same warunki przesłanek) do liczby wszystkich pojedynczych warunków przesłanek wszystkich reguł o tych samych konkluzjach.

A.3 Przykład klasyfikowania nowych przykładów

Dany jest zbiór reguł:

```
IF [atr1 = 1] AND [atr2 = 1]                => [kl = rozw_proj1]   (10 - 20)
IF                [atr2 = 1] AND [atr3 = 0] => [kl = rozw_proj2]   (4 - 12)
```

co oznacza np. dla ostatniej reguły, że jeśli spełnione są wartości cech $atr2=1$ oraz $atr3=0$, wówczas konkluzją danej reguły jest cecha decyzyjna *klasa* o wartości *rozw_proj2*. Dodatkowo, 4 przykłady spośród 12 uczących były zastosowane do uogólnienia tej reguły.

Dany jest nowy przykład, który podlega klasyfikacji na podstawie powyższego zbioru reguł:

```
[atr1 = 1] [atr2 = 1] [atr3 = 0].
```

Wartości cech przykładu spełniają części warunkowe obu reguł (punkt A, rozdział A.2). Stopień pewności zastosowania danego rozwiązania wskazanego przez wartość cechy decyzyjnej dla pierwszej reguły wynosi $10 / 20 = 0,5$. Ten sam stopień pewności dla drugiej reguły wynosi $4 / 12 = 0,33$.

Dany jest nowy przykład, którego wartości cech nie spełniają części warunkowych żadnej z reguł ze zbioru:

[atr1 = 1] [atr2 = 0] [atr3 = 1].

W tym przypadku (punkt B, rozdział A.2), tylko jedna wartość cechy *atr1* w regule pierwszej spełnia wartość tej samej cechy w przykładzie. Stopień pewności równy jest ilorazowi liczby wartości cech w przesłance reguły do liczby wszystkich wartości cech w tej regule, czyli $1 / 2 = 0,5$. Stopień pewności obliczony dla drugiej reguły wynosi $0 / 2 = 0$.

DODATEK B

Indukcja reguł z zastosowaniem zbiorów przybliżonych

Istotą metody jest opis wiedzy niedokładnej z zastosowaniem pary: dolnej i górnej aproksymacji. Dolna aproksymacja zawiera wszystkie przykłady, które z całą pewnością należą do danego rozwiązania, natomiast górna aproksymacja zawiera wszystkie przykłady, które mogą prawdopodobnie należeć do danego rozwiązania. Jest to szczególnie przydatne w budowie i eksploatacji maszyn, gdzie posługujemy się danymi o ograniczonym stopniu dokładności (np. tolerancje wymiarów, kształtu itp.) [Moczulski, 1997a].

B.1 Relacja nierozróżnialności

Przykłady rozwiązań projektowych e_1 i e_2 (przypisane do rozwiązań projektowych x_1 i x_2) są nierozróżnialne w systemie S (zob. punkt 2.1.5) ze względu na atrybut $a \in A$, gdy $\rho(x_1, a) = \rho(x_2, a)$, co oznacza się jako $x_1 \sim_a x_2$. Przykłady rozwiązań projektowych mogą być nierozróżnialne ze względu na zbiór atrybutów $A^R \subset A$: $x_1 \sim_{A^R} x_2$, lub ze względu na cały zbiór atrybutów A : $x_1 \sim_A x_2 \equiv x_1 \sim_S x_2 \equiv x_1 \sim x_2$.

Relacje \sim_a , \sim_{A^R} , \sim_S są relacjami równoważności dzielącymi zbiór rozwiązań

projektowych na podzbiory, przy czym

$$\sim_S = \bigcap_{a \in A} \sim_a. \quad (\text{B.1})$$

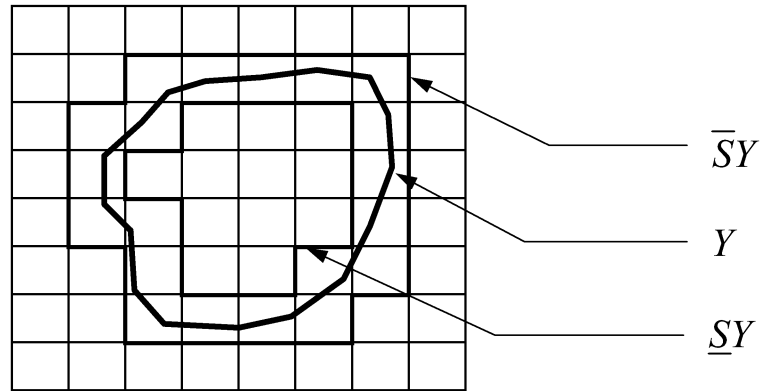
Relacja \sim_S dzieli zbiór E na zbiory elementarne zwane *atomami* (oznaczane przez E_i).

B.2 Zbiory przybliżone

Zbiór $Y \subseteq E$ jest opisywalny w systemie S ze względu na zbiór atrybutów A , gdy możliwe jest przedstawienie tego zbioru jako sumy zbiorów elementarnych systemu, co jest konsekwencją nierozróżnialności rozwiązań projektowych wewnątrz zbioru elementarnego. Gdy zbiór nie jest opisywalny w systemie, to można określić jego (na podst. [Moczulski, 1997a]):

- dolne przybliżenie (\underline{SY}) jako największy (w sensie zawierania) zbiór opisywalny w S zawarty w Y ,
- górne przybliżenie (\overline{SY}) jako najmniejszy (w sensie zawierania) zbiór opisywalny w S zawarty w Y ,
- brzeg zbioru jako: $(\underline{SY}) - (\overline{SY})$.

Gdy rozpatruje się podzbiór atrybutów $A^R \subseteq A$, to otrzymuje się dolne oraz górne przybliżenie zbioru Y ze względu na zbiór atrybutów A^R jako odpowiednio $(\underline{A^R Y})$ oraz $(\overline{A^R Y})$. Rys. B1. przedstawia przykład dolnego i górnego przybliżenia pewnego zbioru w systemie informacyjnym, którego zbiory elementarne są kwadratami wyznaczonymi przez siatkę.



Rys. B1. Przykład dolnego i górnego przybliżenia zbioru w systemie informacyjnym S

Dokładność dolnego i górnego przybliżenia zbioru Y określa się w systemie S jako odpowiednio (na podst. [Moczulski, 1997a]):

$$1) \quad \underline{\mu}(Y) = \frac{|\underline{SY}|}{|Y|}, \quad (B.2)$$

$$2) \quad \overline{\mu}(Y) = \frac{|Y|}{|\overline{SY}|}, \quad (B.3)$$

$$3) \quad \text{oraz dokładność przybliżenia } \mu(Y) = \frac{|\underline{SY}|}{|\overline{SY}|} \quad (B.4)$$

przy czym $|Y|$ - licznosc zbioru Y .

B.3 Klasyfikacja przyblizona

Rozważana poprzednio klasyfikacja dwustanowa w wielu przypadkach okazuje się niewystarczająca. W takim przypadku problem przybliżenia zbioru w systemie S można rozszerzyć na rodziny zbiorów.

Gdy $\chi = \{E_1, E_2, \dots, E_i\}$ i $E_i \subseteq E$ dla $i = 1 \dots |\chi|$ ($|\chi|$ - liczba rozwiązań projektowych) wtedy dolne i górne przybliżenie rodziny χ określa się odpowiednio jako (na podst. [Moczulski, 1997a]):

$$\underline{S\chi} = \{\underline{SE}_1, \underline{SE}_2, \dots, \underline{SE}_i\}, \quad (B.5)$$

$$\overline{S\chi} = \{\overline{SE}_1, \overline{SE}_2, \dots, \overline{SE}_i\}. \quad (B.6)$$

Gdy liczba rozwiązań projektowych $|X| \geq 2$ oraz $\forall_{i \geq 1} \forall_{i \neq j, j \leq |X|} E_i \times E_j = \emptyset$ oraz $\bigcup_{i=1}^{|X|} E_i = E$,

czyli rodzina zbiorów jest klasyfikacją $\chi = C(E)$, to mówi się o dolnym i górnym przybliżeniu klasyfikacji. Dla tych przybliżeń określone są współczynniki dokładności (na podst. [Moczulski, 1997a]):

$$\underline{\beta}C(E) = \frac{\sum_{i=1}^{|X|} |\underline{S}(E_i)|}{|E|}, \quad (\text{B.7})$$

$$\overline{\beta}C(E) = \frac{\sum_{i=1}^{|X|} |\overline{S}(E_i)|}{|E|}. \quad (\text{B.8})$$

Dokładność klasyfikacji wyraża się wzorem (na podst. [Moczulski, 1997a]):

$$\beta C(E) = \frac{\sum_{i=1}^{|X|} |\underline{S}(E_i)|}{\sum_{i=1}^{|X|} |\overline{S}(E_i)|}. \quad (\text{B.9})$$

Wprowadza się również ocenę jakości klasyfikacji (na podst. [Moczulski, 1997a]):

$$\gamma C(E) = \frac{\sum_{i=1}^{|X|} |\underline{S}(E_i)|}{|E|}. \quad (\text{B.10})$$

Ocena ta oznacza iloraz liczby przykładów poprawnie sklasyfikowanych do liczby wszystkich przykładów w zbiorze uczącym.

B.4 Redukcja liczby atrybutów

W systemie informacyjnym często zdarza się, że wartość pewnego atrybutu jest jednoznacznie wyznaczona przez wartości innego atrybutu lub grupy atrybutów. Inaczej mówiąc, nie wszystkie atrybuty w systemie są nośnikami jednakowej informacji. Mogą być więc wyeliminowane bez utraty informacji.

Mówi się, że zbiór atrybutów A_i jest zależny od zbioru atrybutów A_j gdy $\tilde{A}_j \subseteq \tilde{A}_i$, natomiast gdy ani $\tilde{A}_i \subseteq \tilde{A}_j$ ani $\tilde{A}_j \subseteq \tilde{A}_i$, to zbiory atrybutów są w systemie S niezależne.

Zbiory atrybutów zależnych można usunąć z systemu informacyjnego, gdyż nie wnoszą one istotnych informacji i generowane przez nie podziały można otrzymać korzystając z pozostałych zbiorów atrybutów. W celu identyfikacji zbiorów atrybutów

zależnych, zbędnych w systemie informacyjnym, należy sprawdzić, czy po usunięciu danych atrybutów otrzymamy taki sam podział na atomy, jak przy zastosowaniu wszystkich atrybutów. Dzięki temu można znaleźć najmniejszy zbiór A^R atrybutów dających podział na atomy, taki jak zbiór A .

Taki zbiór $A^R \subset A$, że $\tilde{A}^R = \tilde{A}$ oraz $\forall_{A^R \subset A} \tilde{A}^{R'} \neq \tilde{A}$ nazywamy *reduktem (reduktem minimalnym)* zbioru atrybutów w systemie S (na podst. [Moczulski, 1997a]).

Kryterium pozwalającym na usunięcie zbiorów atrybutów jest tutaj niezmiennosc dokładności dolnego $\underline{\beta}C(E)$ i górnego $\overline{\beta}C(E)$ przybliżenia klasyfikacji (odpowiednio wg równań B.7 i B.8). Oznacza to, że łączyć się ze sobą mogą tylko atomy należące do dolnego przybliżenia brzegu, gdyż tylko wtedy moce zbiorów $\underline{S}E_i$ i $\overline{S}E_i$ pozostają bez zmian. Otrzymamy wtedy tzw. zbiór minimalny atrybutów, jako zbiór $A^\mu \subseteq A$ taki, że

$$\forall_{A^R \subset A^\mu} \beta_{A^R} C(E) < \beta_{A^\mu} C(E) \quad (\text{B.11})$$

gdzie $\beta_{A^\mu} C(E) = \beta_A C(E) = \beta C(E)$ (na podst. [Moczulski, 1997a]).

Zbiór nieusuwalnych atrybutów zależy od zbioru przykładów rozwiązań projektowych w danym systemie informacyjnych.

B.5 Klasyfikowanie nowych przykładów

Niech będzie dany zbiór reguł pozyskanych indukcyjnie ze zbioru przykładów uczących oraz klasyfikowany przykład, który wcześniej nie był stosowany w procesie indukcji wspomnianych reguł. Czynniki decydującymi o wyborze rozwiązania projektowego, do której należy przypisać klasyfikowany przykład, są: moc, specyficzność i poparcie reguły (ang. odpowiednio: *strength*, *specifity*, *support*) [Grzymała-Busse, 1994].

Dla reguł przybliżonych, których przesłanki są całkowicie spełnione przez wartości cech opisujących przykład, określa się [Grzymała-Busse, 1994]:

- moc reguły $MR(r)$ jako łączną liczbę przykładów poprawnie sklasyfikowanych przez tę regułę w fazie testowania reguły,
- specyficzność reguły $SR(r)$ jako liczbę warunków w przesłance rozpatrywanej reguły,
- poparcie pojęcia $PP(x_i)$ jako sumę iloczynów (dla każdej reguły o tej samej konkluzji) mocy reguły $MR(r)$ oraz specyficzności reguły $SR(r)$, gdy wartości cech danego przykładu całkowicie spełniają przesłanki reguły:

$$PP(x_i) = \sum_{r \in R_i} MR(r) \cdot SR(r) \quad (\text{B.12})$$

gdzie: R_i - zbiór reguł, których konkluzją jest wybór rozwiązania projektowego x_i .

Istnieje także inny sposób określania mocy reguły za pomocą przybliżonej miary sprawności (ang. *rough performance measure*) danej reguły, obliczanej jako stosunek liczby wszystkich przykładów $E^+(r_i)$ poprawnie sklasyfikowanych przez tę regułę do łącznej liczby przykładów $E(r_i)$, których wartości cech spełniają przesłanki tej reguły:

$$MR(r) = \frac{\sum_{i=1}^{|R|} |E^+(r_i)|}{\sum_{i=1}^{|R|} |E(r_i)|}. \quad (\text{B.13})$$

Klasyfikowany przykład należy do takiego rozwiązania projektowego, dla którego istnieją reguły o przesłankach całkowicie spełnionych przez wartości cech opisujących ten przykład oraz dla którego rozwiązanie poparcie jest największe.

W przypadku niespełnienia przesłanek reguły przez wartości cech klasyfikowanego przykładu rozpatruje się częściowe spełnienie tych przesłanek. Ma ono miejsce wówczas, gdy co najmniej jeden warunek elementarny reguły jest spełniony przez wartości cech przykładu. Określana jest wtedy dodatkowa miara stopnia dopasowania przesłanki reguły do przykładu $MF(r)$ [Grzymała-Busse, 1994]. Stopień ten jest równy stosunkowi liczby warunków elementarnych przesłanki reguły $a^+(r_i)$ spełnionych przez odpowiednie wartości cech przykładu do ogólnej liczby warunków elementarnych $a(r_i)$, tworzących przesłankę reguły:

$$MF(r) = \frac{\sum_{i=1}^{|R|} |a^+(r_i)|}{\sum_{i=1}^{|R|} |a(r_i)|}. \quad (\text{B.14})$$

Przykład jest sklasyfikowany jako należący do takiego rozwiązania projektowego, dla którego suma iloczynów stopnia dopasowania, mocy reguły i specyficzności reguły osiąga maksimum [Grzymała-Busse, 1994]:

$$PP^-(x_i) = \sum_{r \in R_i} MF(r) \cdot MR(r) \cdot SR(r). \quad (\text{B.15})$$

B.6 Przykład klasyfikowania nowych przykładów

Dany jest zbiór reguł określony jak w punkcie A.3:

```
IF [atr1 = 1] AND [atr2 = 1] => [kl = rozw_proj1] (10 - 20)
IF [atr2 = 1] AND [atr3 = 0] => [kl = rozw_proj2] (4 - 12)
```

co oznacza np. dla ostatniej reguły, że jeśli spełnione są wartości cech $atr_2=1$ oraz $atr_3=0$, wówczas konkluzja danej reguły jest określona przez cechę decyzyjną *klasa* o wartości *rozw_proj2*. Dodatkowo, 4 przykłady spośród 12 przykładów uczących były zastosowane do uogólnienia tej reguły.

Dany jest nowy przykład, który podlega klasyfikacji na podstawie powyższego zbioru reguł:

$$[atr_1 = 1] [atr_2 = 1] [atr_3 = 0].$$

Wartości cech przykładu spełniają części warunkowe obu reguł. Poparcie pojęcia (rozwiązania projektowego) wskazanego przez wartość cechy decyzyjnej dla pierwszej reguły zgodnie z (B.12) i (B.13) wynosi:

$$SR(r_1) = 2$$

$$MR(r_1) = 10 / 20 = 0,5$$

$$PP(\text{rozw_proj1}) = 2 \cdot 0,5 = 1.$$

Ten sam stopień poparcia dla drugiej reguły wynosi:

$$SR(r_2) = 2$$

$$MR(r_2) = 4 / 12 = 0,33$$

$$PP(\text{rozw_proj2}) = 2 \cdot 0,33 = 0,66.$$

Nowy przykład zostanie sklasyfikowany do rozwiązania o identyfikatorze *rozw_proj1*, ponieważ jego stopień poparcia jest największy.

Dany jest nowy przykład, którego wartości cech nie spełniają części warunkowych żadnej z reguł:

$$[atr_1 = 1] [atr_2 = 0] [atr_3 = 1].$$

W tym przypadku tylko jedna wartość cechy *atr1* w regule pierwszej spełnia warunek dla tej samej cechy w przykładzie. Wówczas oblicza się dodatkową miarę stopnia dopasowania przesłanki reguły do przykładu wg (B.14). Stopień poparcia pojęcia wynosi wtedy zgodnie z (B.12) i (B.15):

$$MF(r_1) = 1 / 2 = 0,5$$

$$PP^-(\text{rozw_proj1}) = 0,5 \cdot 2 \cdot 0,5 = 0,5.$$

Stopień poparcia pojęcia *rozw_proj2* wynosi 0, gdyż wartość $MF(r_2) = 0$.

DODATEK C

Indukcja drzew decyzyjnych

Istotą metody jest generowanie drzewa decyzyjnego na podstawie zbioru przykładów uczących. W pierwszym kroku dokonuje się wyboru kolejności atrybutów, względem których będzie budowane drzewo decyzyjne.

C.1 Rekurencyjny algorytm budowy drzewa decyzyjnego

Algorytm indukcji drzewa decyzyjnego ma charakter rekurencyjny. Algorytm ten dla tablicy decyzyjnej można przedstawić następująco [Moczulski, 1997a]:

- 1) jeśli wszystkie pozostające do sklasyfikowania przykłady dotyczą jednego rozwiązania projektowego, to utwórz liść drzewa dla tego podzbioru przykładów przypisany do danego rozwiązania i zakończ postępowanie,
- 2) ze zbioru atrybutów, które nie zostały jeszcze zastosowane do podziału zbioru przykładów, wybierz atrybut danej cechy oraz utwórz odpowiadający mu węzeł i tyle gałęzi zeń wychodzących, ile wartości ma dana cecha,
- 3) dokonaj rozkładu zbioru przykładów pozostających do sklasyfikowania na podzbiory $E^{(m)}$, oraz przyporządkuj je do kolejnych gałęzi wychodzących z uprzednio utworzonego węzła ($E^{(m)}$ jest podzbiorem przykładów, dla których atrybut a cechy ma wartość v_m),
- 4) usuń atrybut ze zbioru atrybutów,
- 5) zastosuj opisany algorytm rekurencyjnie do niepustych podzbiorów przykładów.

C.2 Sposoby wyboru atrybutów

Głównym problemem w trakcie budowy drzewa decyzyjnego jest określenie kryterium, umożliwiającego wybór atrybutu stosowanego do rozbudowy tego drzewa. W tym przypadku stosuje się zazwyczaj entropię. *Entropia* jest wyznaczana na podstawie prawdopodobieństw wystąpienia danych zdarzeń. Zakłada się, iż prawdopodobieństwo wystąpienia każdego z zapisanych przykładów jest identyczne, co umożliwia oszacowanie wartości prawdopodobieństw za pomocą odpowiednich częstości występowania przykładów przypisanych do danych rozwiązań projektowych.

Informacja zawarta w zbiorze przykładów E (entropia) jest równa [Quinlan, 1993]:

$$I(E) = - \sum_{i=1}^{|E|} \frac{|E_i|}{|E|} \cdot \log_2 \left(\frac{|E_i|}{|E|} \right) \quad (\text{C.1})$$

gdzie: E – zbiór przykładów,

$|E^i|$ - liczba przykładów, które są przypisane do rozwiązania projektowego i -tego,

$|E|$ - liczba przykładów w zbiorze E .

Oczekiwana wartość ilości informacji po podziale zbioru przykładów E na podzbiory $E^{(m)}$, $m = 1, \dots, |V_a|$, dla których atrybut a cechy ma wartość v_m , określona jest jako [Quinlan, 1993]:

$$I(E, a) = \sum_{m=1, \dots, |V_a|, E^{(m)} \neq \emptyset} \frac{|E^{(m)}|}{|E|} \cdot I(E^{(m)}) \quad (C.2)$$

Współczynnik przyrostu ilości informacji określa się jako [Quinlan, 1993]:

$$I(E|a) = - \sum_{m=1, \dots, |V_a|, E^{(m)} \neq \emptyset} \frac{|E^{(m)}|}{|E|} \cdot \log_2 \left(\frac{|E^{(m)}|}{|E|} \right) \quad (C.3)$$

W celu wyboru atrybutu, który będzie przypisany do tworzonego węzła drzewa decyzyjnego, można zastosować następujące kryteria [Quinlan, 1986] (jako kolejny atrybut stosuje się ten, dla którego funkcja kryterialna ma wartość największą):

- 1) kryterium maksymalnego przyrostu ilości informacji spowodowanego zastosowaniem danego atrybutu:

$$\Delta I(E, a) = I(E) - I(E, a) \quad (C.4)$$

- 2) kryterium względnego przyrostu ilości informacji w odniesieniu do ilości informacji zawartej w podziale zbioru przykładów (odpowiednio do przyjmowanych wartości cechy przez atrybut tej cechy):

$$\delta I(E, a) = \Delta I(E, a) / I(E|a). \quad (C.5)$$

C.3 Brakujące wartości cech w przykładach uczących

Większość znanych algorytmów (np. C4.5 [Quinlan, 1993]) umożliwia indukcję drzewa decyzyjnego na podstawie przykładów, w których brak jest co najmniej jednej wartości cechy. Wymaga to modyfikacji sposobu [Quinlan, 1993]:

- obliczania przyrostu ilości informacji $\Delta I(E, a)$,
- przydziału przykładu z brakującymi wartościami cechy do podzbiorów przykładów utworzonych po podziale całego zbioru przykładów względem danego atrybutu cechy,

- klasyfikowania nowego przykładu z brakującymi wartościami cechy.

Klasyfikacja nowego przykładu z brakującymi wartościami cechy rozpoczyna się od węzła odpowiadającego cesze, dla której brakuje wartości. Przykład jest klasyfikowany do wszystkich rozwiązań projektowych przypisanych do liści - potomków (bezpośrednich lub pośrednich) tego węzła. W wyniku takiego działania otrzymuje się wiele ścieżek i odpowiadających im ocen klasyfikacji. Oceny klasyfikacji ważone są przez wyznaczone prawdopodobieństwa wystąpienia danego rozwiązania projektowego. Przykład z brakującymi wartościami cech może być więc sklasyfikowany bądź niejednoznacznie, bądź też można przyjąć, że jest sklasyfikowany do rozwiązania projektowego o największym prawdopodobieństwie. W programie C4.5, w którym zastosowano algorytm indukcji drzewa decyzyjnego, przyjęto, że przykład z brakującymi wartościami cech będzie klasyfikowany do rozwiązania projektowego o największym prawdopodobieństwie wystąpienia przykładów uczących związanych z danym węzłem.

C.4 Generowanie reguł na podstawie drzew decyzyjnych

Quinlan podał strategię budowania reguł w przypadku wielu cech o dużej liczbie przyjmowanych wartości [Quinlan, 1986]. Dla uzyskania zbioru reguł należy wykonać następujące kroki:

- 1) Przekształcić drzewo decyzyjne w zbiór reguł poprzez reprezentację każdej „ścieżki” od korzenia do liścia oznaczającego dane rozwiązanie projektowe. Lewa strona reguły zawiera warunki otrzymane w wyniku interpretacji danej „ścieżki”, prawa strona reguły zawiera identyfikator rozwiązania projektowego reprezentowanego przez liść.
- 2) Uprościć każdą regułę z otrzymanego zbioru poprzez usunięcie warunków nie mających wpływu na rozróżnianie rozwiązań projektowych,
- 3) Usunąć te reguły, które nie mają wpływu na poprawę klasyfikacji za pomocą całego zbioru reguł,
- 4) Wybrać spośród wszystkich rozwiązań projektowych oznaczonych przez konkluzje reguł rozwiązanie domyślne (jeśli wartości cech przykładu nie spełnią warunków przesłanek żadnej reguły z rozpatrywanego zbioru reguł, wówczas przykład klasyfikowany jest do rozwiązania domyślnego).

C.5 Klasyfikacja nowych przykładów

W przypadku, jeśli w przykładzie brak jest cech z nieznanymi wartościami, klasyfikacja przebiega jednoznacznie. Nowy przykład klasyfikowany jest (biorąc pod uwagę wartości jego cech) zgodnie z kolejnością wynikającą ze struktury tego drzewa, do rozwiązania projektowego oznaczonego przez osiągnięty liść drzewa. Jeśli nie zostanie osiągnięty żaden

z liści drzewa decyzyjnego, wówczas przykład jest klasyfikowany do rozwiązania domyślnego.

Klasyfikowanie nowego przykładu z brakującymi wartościami cech przebiega w podobny sposób jak budowa drzewa decyzyjnego z zastosowaniem takich cech. Jeśli zostanie napotkany węzeł drzewa, który odpowiada atrybutowi cechy w klasyfikowanym przykładzie, lecz w przykładzie tym wartość tego atrybutu nie została określona, wówczas dalsza klasyfikacja przykładu może odbywać się sprawdzając każdą z gałęzi drzewa, które wychodzą z tego węzła. W tym przypadku mamy do czynienia z klasyfikacją niejednoznaczną. Rozwiązanie projektowe, do którego zostanie zaklasyfikowany przykład, określone jest przez maksymalne prawdopodobieństwo danego rozwiązania projektowego [Quinlan, 1993].

C.6 Przykład klasyfikowania nowych przykładów

Dany jest zbiór reguł określony jak w punkcie A.3:

```
IF [atr1 = 1] AND [atr2 = 1] => [kl = rozw_proj1] (10 - 20)
IF [atr2 = 1] AND [atr3 = 0] => [kl = rozw_proj2] (4 - 12)
```

co oznacza np. dla ostatniej reguły, że jeśli spełnione są wartości cech $atr2=1$ oraz $atr3=0$, wówczas konkluzja danej reguły określona jest przez cechę decyzyjną *klasa* o wartości *rozw_proj2*. Dodatkowo, 4 przykłady spośród 12 uczących były zastosowane do uogólnienia tej reguły.

Dany jest nowy przykład, który podlega klasyfikacji na podstawie powyższego zbioru reguł:

```
[atr1 = 1] [atr2 = 1] [atr3 = 0].
```

Wartości cech przykładu spełniają części warunkowe obu reguł. Stopień pewności zastosowania danego rozwiązania wskazanego przez wartość cechy decyzyjnej dla pierwszej reguły wynosi $10 / 20 = 0,5$. Ten sam stopień pewności dla drugiej reguły wynosi $4 / 12 = 0,33$. Nowy przykład zostanie sklasyfikowany do rozwiązania o identyfikatorze *rozw_proj1*, ponieważ jego stopień pewności jest największy.

DODATEK D

Sposób wyboru podzbioru atrybutów relewantnych

Do wyboru podzbioru atrybutów relewantnych stosowana jest miara przydatności, rozumiana jako ocena przydatności danego atrybutu do rozróżniania rozwiązania projektowego, do którego przypisany jest dany przykład. Wartości tej miary mogą być określone np. za pomocą algorytmu *PROMISE 2*.

Algorytm *PROMISE 2* do obliczania wartości $P = P(a, E)$ miary przydatności atrybutu a do rozróżniania rozwiązań projektowych w zbiorze przykładów E określany jest następująco ([Kaufman, 1997], cytowano za [Moczulski, 1997a]):

Niech $P = 0$. Dla $m = 1, \dots, |V_a|$, gdzie: $|V_a|$ - liczba wartości atrybutu a :

- 1) Niech $E^{(m)}$ będzie podzbiorem zbioru przykładów, dla których atrybut a cechy ma wartość v_m .
- 2) Znajdź X_{min} - najmniej licznie reprezentowane rozwiązanie spośród rozwiązań projektowych mających największą liczbę $n_C(v_m) > 0$ przykładów w zbiorze $E^{(m)}$.
- 3) Zwiększ P o liczbę $\Delta P = |E^{(m)} \cap X_{min}| / |X_{min}|$.

Jeśli jest spełnione $P = P(a, E) = |V_a|$, przydatność jest największa, podczas gdy równość $P = |V_a| / |X|$ oznacza brak jakiegokolwiek przydatności atrybutu a do określenia przynależności przykładów $e \in E$ do rozwiązań projektowych. Do dalszego zastosowania wskazane jest przekształcenie:

$$P \leftarrow \frac{P \cdot |X| - |V_a|}{|V_a| \cdot (|X| - 1)}, \quad (D.1)$$

które powoduje, że wartości $P \in [0, 1]$, przy czym $P = 1$ odpowiada największej, a $P = 0$ najmniejszej wartości miary przydatności.

SPIS LITERATURY

- [Andrade, Bento, Virtuoso, 1997] J. C. Andrade, J. Bento, F. Virtuoso: *A Design Support System for Viaducts*, Proceedings of the 4th Workshop of the European Group for Structural Engineering (EG- SEA-AI) held at Fellmanni Institute, pp. 33 - 34, Lahti, Finland, September 1 - 2, 1997.
- [Andrade, Bento, 1998] J. C. Andrade, J. Bento: *Design Support for Viaducts*, [W:] I. Smith (Ed.) *Artificial Intelligence in Structural Engineering*, Lecture Notes in Artificial Intelligence 1454, pp. 428 - 433, 1998.
- [Anumba, Scott, 1996] C. J. Anumba, D. Scott: *The Use of Multiple Sources of Knowledge in KBS Development*, Proceedings of the 3rd Workshop of the European Group for Structural Engineering (EG-SEA-AI) held at Ross Priory, pp. 133 - 135, University of Strathclyde, UK, August 12 - 13, 1996.
- [Arciszewski, 1994] T. Arciszewski: *Machine Learning in Engineering Design*, Intelligent Information Systems III, Proceedings on the Workshop held in Wigry, Poland, pp. 40 - 54, June 6 - 10, 1994.
- [Arciszewski, Dybala, Wnek, 1992] T. Arciszewski, T. Dybala, J. Wnek: *A Method for Evaluation of Learning Systems*, [W:] *HIEURISTICS, The Journal of Knowledge Engineering*, Special Issue on Knowledge Acquisition and Machine Learning, Vol. 5, No 4, Winter 1992.
- [Baier, 1998] A. Baier: *Komputerowo zintegrowane konstruowanie i wytwarzanie obrotowych elementów maszyn*, rozprawa doktorska, Katedra Technologii Maszyn i Zintegrowanych Systemów Wytwarzania, Politechnika Śląska, Gliwice 1998.
- [Baim, 1982] P. W. Baim: *The PROMISE Method for Selecting Most Relevant Attributes for Inductive Learning System*, Report No. ISG 82 - 1, Department of Computer Science, University of Illinois at Urbana - Champaign, Urbana, IL, 1982.
- [Bento, Dias, Pina, 1996] J. Bento, J. L. Dias, C. A. B. Pina: *Behaviour of Large Dams: Inferring Knowledge from Previous Incidents*, Proceedings of the 3rd Workshop of the European Group for Structural Engineering (EG-SEA-AI) held at Ross Priory, pp. 83 - 90, University of Strathclyde, UK, August 12 - 13, 1996.
- [Bolc, Zaremba, 1992] L. Bolc, J. Zaremba: *Wprowadzenie do uczenia się maszyn*, seria: *Problemy współczesnej nauki i techniki: Informatyka*, Akademicka Oficyna Wydawnicza RM, Warszawa 1992.
- [Boulanger, Smith, Hirt, 1997] S. Boulanger, I. Smith, M. Hirt, *Computer Supported Design: Empowering or Inhibiting?*, Proceedings of the 4th Workshop of the European Group

for Structural Engineering (EG-SEA-AI) held at Fellmanni Institute, pp. 1 - 8, Lahti, Finland, September 1 - 2, 1997.

- [Borkowski, 1997] A. Borkowski: *Nowe narzędzia informatyki w projektowaniu*, [W:] Przegląd Mechaniczny 21'97, ss. 5 - 13, Warszawa 1997.
- [Brändlein, Eschmann, Hasbargen, Weigland, 1995] Brändlein, Eschmann, Hasbargen, Weigland: *Die Wälzlagerpraxis: Handbuch für die Berechnung und Gestaltung von Lagerungen*, Vereinigte Fachverlage GmbH, Mainz 1995.
- [Brinkop, Laudwein, Maassen, 1994] A. Brinkop, N. Laudwein, R. Maassen: *Routine Design for Mechanical Engineering*, Proceedings of the Sixth Innovative Applications of Artificial Intelligence Conference, pp. 3 - 13, August 1 - 3, Seattle, Washington 1994.
- [Chmielewski, Grzymała-Busse, 1992] M. R. Chmielewski, J. W. Grzymała-Busse: *Global Discretization of Continuous Attributes as Preprocessing for Inductive Learning*, TR - 92 - 7, Department of Computer Science, University of Kansas, Lawrence, KS 1992.
- [Cholewa, 1993] W. Cholewa: *Frames in Diagnostic Reasoning*, Journal of Applied Mathematics and Computer Science, Vol. 3, (1993), No. 3, pp. 595 - 612.
- [Cholewa, 1993a] W. Cholewa: *Szkieletowy system doradczy MAS - dokumentacja użytkownika*, tom I, Katedra Podstaw Konstrukcji Maszyn, Politechnika Śląska, Gliwice 1993.
- [Cholewa, 1996] W. Cholewa: *Dynamiczne systemy doradcze w diagnostyce technicznej*, Kongres Diagnostyki Technicznej, t. 1, ss. 57 - 84, KPKM, Politechnika Śląska i IMP PAN, Gdańsk 1996.
- [Cholewa, Moczulski, 1990] W. Cholewa, W. Moczulski: *Systemy doradcze w diagnostyce maszyn. Cz. 1: Istota działania, Cz. 2: Zasady konstruowania. Zagadnienia Eksploatacji Maszyn, Zeszyty 2 - 3 (1990), ss. 331 - 342 i Zeszyt 4 (1990), ss. 519 - 527.*
- [Cholewa, Pedrycz, 1987] W. Cholewa, W. Pedrycz: *Systemy doradcze*, Skrypt uczelniowy Politechniki Śląskiej nr 1447, Gliwice 1987.
- [Cichocki, Gil, Pokojski, 1997] P. Cichocki, M. Gil, J. Pokojski: *Heating System Design Support*, [W:] I. Smith (Ed.) *Artificial Intelligence in Structural Engineering*, Lecture Notes in Artificial Intelligence 1454, pp. 60 - 68, 1997.
- [Cichosz, 1997] P. Cichosz: *Uczenie się maszyn: wykład 3*, <http://tichy.ipe.pw.edu.pl/~pawel/um/wyklad3/wyklad3.html>, 1997.
- [Ciupke, 1997] K. Ciupke: *Akwizycja reguł konstruowania podzespołów maszyn z zastosowaniem zbiorów przybliżonych*, XVIII Sympozjon Podstaw Konstrukcji Maszyn, cz. I, ss. 283 - 290, Kielce - Ameliówka 1997.

- [Ciupke, Maniak, 1998] K. Ciupke, P. Maniak: *Application of Machine Learning Methods to Diagnostics of Machinery*, Intelligent Information Systems VII, Proceedings of the Workshop held in Malbork, Poland, pp. 132 - 135, June 15 - 19, 1998.
- [Ćwikła, Knosala, 1997] G. Ćwikła, R. Knosala: *System doradczy wspomagający dobór obrabiarek dla wykonywania zadania produkcyjnego*, XV Ogólnopolska Konferencja „Poliptymalizacja i Komputerowe wspomaganie projektowania”, ss. 77 - 84, Mielno 1997.
- [Dietrych, 1968] J. Dietrych: *Konstrukcja i konstruowanie*, WNT, Warszawa 1968.
- [Dietrych, 1974] J. Dietrych: *Projektowanie i konstruowanie*, WNT, Warszawa 1974.
- [Dietrych, 1985] J. Dietrych: *System i konstrukcja*, WNT, Warszawa 1985.
- [Dudek, Skrzyszkowski, 1993] A. Dudek, Z. Skrzyszkowski: *Projektowanie reduktorów stożkowo-walcowych wspomagane komputerowo*, Skrypt Politechniki Krakowskiej, Kraków 1993.
- [Dukarski, Józefowicz, Kustoń, Rogala, 1991] W. Dukarski, W. Józefowicz, P. Kustoń, M. Rogala: *Rola dialogu w systemie obliczeniowo-ptymalizacyjnym dla projektowania*, XV Sympozjon Podstaw Konstrukcji Maszyn, komunikaty cz. II, ss. 81 - 82, Zeszyty Naukowe Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów 1991.
- [Dybala, Tecuci, 1995] T. Dybala, G. Tecuci: *Shared Expertise Space: A Learning-oriented Model for Computer Aided Engineering Design*, Workshop Notes of the IJCAI - 95 Workshop on Machine Learning in Engineering, Montréal, Québec, Canada 1995.
- [Gendarz, 1983] P. Gendarz: *Podstawy optymalizacji różnorodności konstrukcji środków technicznych w procesie tworzenia typoszeregów*, praca doktorska, Instytut Mechaniki i Podstaw Konstrukcji Maszyn, Politechnika Śląska, Gliwice 1983.
- [Grzymała-Busse, 1994] J. W. Grzymała-Busse: *Managing Uncertainty in Machine Learning form Examples*, [W:] M. Dąbrowski, M. Michalewicz, Z. Raś (Eds.): *Intelligent Information System*, Proceedings of the Conference „Practical Aspects of Artificial Intelligence III”, pp. 70 - 84, Wigry, Instytut Podstaw Informatyki PAN, Warszawa 1994.
- [Heilmann, 1991] W. Heilmann: *Komputerowe wspomaganie obliczania oraz kształtowania wałów przekładni zębatach*, XV Sympozjon Podstaw Konstrukcji Maszyn, komunikaty cz. II, ss. 111 - 112, Zeszyty Naukowe Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów 1991.
- [Heinisou, 1997] M. Heinisou: *Expert Knowledge in an Expert System*, Proceedings of the 4th Workshop of the European Group for Structural Engineering (EG-SEA-AI) held at Fellmanni Institute, pp. 79 - 85, Lahti, Finland, September 1 - 2, 1997.
- [Hong, Mozetic, Michalski, 1986] J. Hong, I. Mozetic, R. S. Michalski: *AQ15: Incremental Learning of Attribute-Based Descriptions from Examples. The Method and User's*

Guide, ISG Report 86 - 5, Department of Computer Science, University of Illinois at Urbana - Champaign, IL 1986.

- [Łżykowski, 1995] S. Łżykowski: *Zastosowanie systemów ekspertowych w procesach projektowo-konstrukcyjnych maszyn i urządzeń wytwórczych*, II Konferencja Naukowa „Komputerowe wspomaganie prac inżynierskich”, Szklarska Poręba '95, ss. 201 - 208, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 1995.
- [Jaśkiewicz, 1960] Z. Jaśkiewicz: *Elementy pojazdów mechanicznych. Łożyskowanie toczne*, Państwowe Wydawnictwa Techniczne, Warszawa 1960.
- [Johansson, Edlund, 1996] P. Johansson, B. Edlund: *Reuse of Design Calculation Documents*, Proceedings of the 3rd Workshop of the European Group for Structural Engineering (EG-SEA-AI) held at Ross Priory, pp. 67 - 74, University of Strathclyde, UK, August 12 - 13, 1996.
- [Johansson, Edlund, 1997] P. Johansson, B. Edlund: *Analogical Reasoning Using Design Calculation Documents*, Proceedings of the 4th Workshop of the European Group for Structural Engineering (EG-SEA-AI) held at Fellmanni Institute, pp. 181 - 188, Lahti, Finland, September 1 - 2, 1997.
- [Kaczan, 1991] B. Kaczan: *Programy do komputerowego wspomagania obliczania przekładni cięgnowych*, XV Sympozjon Podstaw Konstrukcji Maszyn, komunikaty cz. II, ss. 127 - 128, Zeszyty Naukowe Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów 1991.
- [Kampa, Knosala, 1995] A. Kampa, R. Knosala: *System doradczy do wspomagania optymalnego harmonogramowania produkcji w gnieździe wytwórczym*, Proceedings of the 4th International Scientific Conference Achievements in the Mechanical and Material Engineering, pp. 161 - 164, Gliwice 1995.
- [Kaufman, 1997] K. A. Kaufman: *INLEN: A Methodology and Integrated System for Knowledge Discovery in Databases*, dissertation, George Mason University, Fairfax, VA 1997.
- [Klimek, Winkler, 1977] T. Klimek, T. Winkler: *Komputerowe wspomaganie zintegrowanych procesów: projektowania, konstruowania i przygotowania wytwarzania na przykładzie zunifikowania suwnic pomostowych*, praca doktorska, Zeszyt 30/64 Instytut Podstaw Konstrukcji Maszyn, Politechnika Śląska, Gliwice 1977.
- [Knosala et al., 1995] R. Knosala [red.]: *Zintegrowany system wytwarzania modułowych zespołów maszyn*, Skrypt uczelniany Politechniki Śląskiej nr 1939, Gliwice 1995.
- [Kolka, Klarecki, Śliwka, Kosmol, 1994] A. Kolka, K. Klarecki, J. Śliwka, J. Kosmol: *Komputerowe wspomaganie obliczeń wrzecion obrabiarek*, Proceedings of the 3rd International Scientific Conference Achievements in the Mechanical and Material Engineering, pp. 203 - 212, Gliwice 1994.

- [Korbicz, 1994] J. Korbicz: *Sztuczne sieci neuronowe*, Akademicka Oficyna Wydawnicza, Warszawa 1994.
- [Kosmol, 1996] J. Kosmol (red.): *Monitorowanie ostrza skrawającego: Metody konwencjonalne i sieci neuronowe*, WNT, Warszawa 1996.
- [Krawiec, 1991] S. Krawiec: *Obliczenia konstrukcyjne przekładni zębatych walcowych wspomagane komputerem*, XV Sympozjon Podstaw Konstrukcji Maszyn, komunikaty cz. II, ss. 163 - 165, Zeszyty Naukowe Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów 1991.
- [Krzemiński-Freda, 1989] H. Krzemiński-Freda: *Łożyska toczne*, Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa 1989.
- [Kurmaz, 1991] L. Kurmaz: *Obliczenia wytrzymałościowe ze wspomaganie komputerowym przekładni zębatych walcowych jedno- i dwustopniowych dla potrzeb dydaktyki*, XV Sympozjon Podstaw Konstrukcji Maszyn, komunikaty cz. II, ss. 179 - 180, Zeszyty Naukowe Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów 1991.
- [Kurmaz, 1991a] L. Kurmaz: *Obliczanie ze wspomaganie komputerowym przekładni zębatych stożkowych*, XV Sympozjon Podstaw Konstrukcji Maszyn, komunikaty cz. II, ss. 181 - 182, Zeszyty Naukowe Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów 1991.
- [Maniak, 1995] P. Maniak: *Zastosowanie metod uczenia maszynowego do akwizycji wiedzy z zakresu konstruowania maszyn*, praca dyplomowa magisterska, Katedra Podstaw Konstrukcji Maszyn, Politechnika Śląska, Gliwice 1995.
- [Maniak, 1995a] P. Maniak: *Przykład identyfikacji reguł doboru typu łożyska*. Proceedings of the 4th International Scientific Conference Achievements in the Mechanical and Material Engineering, Referaty naukowe, pp. 235 - 238, Gliwice-Wisła 1995.
- [Maniak, 1996] P. Maniak: *Example of induction of rules concerning selection of rolling bearings*. International Conference on Computer Integrated Manufacturing, Referaty naukowe t. 2, pp. 221 - 228, Zakopane 1996.
- [Maniak, 1997] P. Maniak: *Porównanie metod pozyskiwania reguł konstruowania*, XI Konferencja „Metody i środki projektowania wspomaganego komputerowo”, ss. 241 - 246, Instytut Podstaw Budowy Maszyn, Politechnika Warszawska, Warszawa 1997.
- [Maniak, 1998] P. Maniak: *Indukcja i weryfikacja reguł dotyczących doboru uszczelnienia wału*, XVI Ogólnopolska Konferencja „Poliptymalizacja i Komputerowe Wspomaganie Projektowania”, ss. 214 - 221, Mielno 1998.
- [Maniak, 1999] P. Maniak: *Pozyskiwanie przykładów rutynowych rozwiązań konstrukcyjnych dla potrzeb indukcji reguł konstruowania*, III Szkoła „Komputerowe Wspomaganie Projektowania, Wytwarzania i Eksploatacji”, materiały konferencyjne, ss. 67 - 74, Szczyrk 1999.

- [Maniak, 1999a] P. Maniak: *Comparative Study of Machine Learning Methods in Design Knowledge Acquisition*, VI warsztaty „Inżynierskie zastosowania sztucznej inteligencji”, przyjęte do druku, Wierzba 1999.
- [Maniak, Moczulski, 1997] P. Maniak, W. Moczulski: *Przykład indukcji reguł dotyczących postaci niewyrównoważenia wirnika*, I Krajowa Konferencja „Metody i systemy komputerowe w badaniach naukowych i projektowaniu inżynierskim”, ss. 159 - 164, Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków 1997.
- [Michalski, 1969] R. S. Michalski: *Recognition of Total or Partial Symmetry in a Completely or Incompletely Specified Switching Function*, Proceedings of the IV IFAC Congress, Vol. 27, pp. 109 - 129, Warszawa 1969.
- [Michalski, 1983] R. S. Michalski: *A Theory and Methodology of Inductive Learning*, Artificial Intelligence 20 (1983), pp. 111 - 161.
- [Michalski, 1997] R. S. Michalski: *Machine Learning, Data Mining and Knowledge Discovery. Principles and Applications*, Konferencja „Intelligent Information Systems '97”, Zakopane, Instytut Podstaw Informatyki PAN, Warszawa 1997.
- [Michalski, Bratko, Kubat, 1997] R. S. Michalski, I. Bratko, M. Kubat (Eds.): *Machine Learning and Data Mining: Methods and Applications*, John Wiley & Sons Ltd, 1997.
- [Milcic, Andjelkovic, 1999] D. Milcic, B. Andjelkovic: *Use of Fuzzy Logic in Gear Power Transmitters Conceptual Design*, Proceedings of the International Conference Computer Integrated Manufacturing, Vol. II, pp. 25 - 32, Zakopane 1999.
- [Miltenovic, Milcic, Stamenkovic, 1999] V. Miltenovic, D. Milcic, N. Stamenkovic: *Architecture of an Intelligent Integrated System for the Gear Power Transmitters Design*, Proceedings of the International Conference Computer Integrated Manufacturing, Vol. II, pp. 33 - 44, Zakopane 1999.
- [Moczulski, 1994] W. Moczulski: *Problems of Knowledge Acquisition for Diagnostic Expert Systems*, Proceedings of the IMEKO XIII World Congress, Vol. 2, pp. 1224-1227, Torino 1994.
- [Moczulski, 1994a] W. Moczulski: *Metody tworzenia systemów objaśniających w procesach komputerowego wspomagania prac inżynierskich*, Raport RMT6215 z realizacji BK - 30/RMT - 6/94, KPKM, Politechnika Śląska, Gliwice 1994.
- [Moczulski, 1995] W. Moczulski: *Przykład identyfikacji wiedzy konstrukcyjnej z zastosowaniem indukcji*, pp. 185 - 194, Workshop on Intelligent Information Systems '95, Augustów 1995.
- [Moczulski, 1997] W. Moczulski: *Inductive Learning in Design. A Method and Case Study Concerning Design of Antifriction Bearing System*, [W:] R. S. Michalski, I. Bratko,

- M. Kubat (Eds.): *Methods and Applications of Machine Learning, Data Mining and Knowledge Discovery*, John Wiley & Sons, 1997.
- [Moczulski, 1997a] W. Moczulski: *Metody pozyskiwania wiedzy dla potrzeb diagnostyki maszyn*, praca habilitacyjna, Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej nr 130 - Mechanika, Gliwice 1997.
- [Moczulski, 1997b] W. Moczulski: *Indukcja reguł dla potrzeb wspomaganie rozwiązywania rutynowego zadania konstrukcyjnego*, XVIII Sympozjon Podstaw Konstrukcji Maszyn, cz. II, ss. 271 - 276, Kielce - Ameliówka 1997.
- [Moczulski et al., 1997] W. Moczulski, K. Ciupke, P. Maniak, M. Wyleżoł: *Pozyskiwanie wiedzy projektowej i konstrukcyjnej metodami indukcyjnymi*, XI Konferencja „Metody i środki projektowania wspomaganego komputerowo”, ss. 255 - 262, Instytut Podstaw Budowy Maszyn, Politechnika Warszawska, Warszawa 1997.
- [Moczulski, Kostka, 1997] W. Moczulski, P. Kostka: *Pozyskiwanie reguł metodą indukcji drzew decyzyjnych dla przypadku złożonej struktury zbioru stanów*, Raport RMT6374, KPKM, Politechnika Śląska, Gliwice 1997.
- [Moczulski, Maniak, 1997] W. Moczulski, P. Maniak: *Pozyskiwanie reguł metodą selektywnej indukcji z wyników obliczeń symulacyjnych dotyczących różnych postaci niewyrównoważenia*, Raport RMT6357, KPKM, Politechnika Śląska, Gliwice 1997.
- [Mrózek, 1993] A. Mrózek: *Some Aspects of Rough Set Applications*, [W:] M. Dąbrowski, M. Michalewicz, Z. Raś (Eds.): *Intelligent Information Systems*, Proceedings of the Conference „Practical Aspects of Artificial Intelligence II”, pp. 47 - 60, Augustów, Instytut Podstaw Informatyki PAN, Warszawa 1993.
- [Nowicki, Słowiński, Stefanowski, 1992] R. Nowicki, R. Słowiński, J. Stefanowski: *Rough Sets Analysis of Diagnostic Capacity of Vibroacoustic Symptoms*, *Computers Math. Applic.* 24 (1992), No 7, pp. 109 - 123.
- [Ohmachi, Inoue, Kato, 1997] T. Ohmachi, K. Inoue, M. Kato: *A CAD System for Knowledge-based Mechanical Design and Optimization*, International Conference on Engineering Design ICED '97, Tampere, pp. 239 - 252, August 19 - 21, 1997.
- [Øhrn, Komorowski, Skowron, Synak, 1998] A. Øhrn, J. Komorowski, A. Skowron, P. Synak: *The Design and Implementation of a Knowledge Discovery Toolkit Based on Rough Sets - The Rosetta System*. [W:] L. Polkowski and A. Skowron (Eds.): *Rough Sets in Knowledge Discovery*, Physica Verlag, 1998.
- [Osiński, 1994] J. Osiński [red.]: *Wspomagane komputerowo projektowanie typowych zespołów i elementów maszyn*, Wydawnictwa Naukowe PWN, Warszawa 1994.

- [Osiński, Miszczuk, 1996] J. Osiński, P. Miszczuk: *Computer-Aided Design of Planetary Gears*, Proceedings of the International Conference on Computer Integrated Manufacturing, Vol. II, pp. 269 - 275, Zakopane 1996.
- [Paszek, Knosala, 1995] A. Paszek, R. Knosala: *The method of the knowledge representation in an expert system for metal cutting engineering*, Proceedings of the 4th International Scientific Conference Achievements in the Mechanical and Material Engineering, pp. 267 - 270, Gliwice 1995.
- [Paszek, Knosala, 1997] A. Paszek, R. Knosala: *Baza wiedzy technologicznej systemu doradczego dla projektowania procesów technologicznych*, XI Konferencja „Metody i środki projektowania wspomaganego komputerowo”, ss. 271 - 278, Instytut Podstaw Budowy Maszyn, Politechnika Warszawska, Warszawa 1997.
- [Pahl, Beitz, 1984] G. Pahl, W. Beitz: *Nauka konstruowania*, WNT, Warszawa 1984.
- [Pawlak, 1982] Z. Pawlak: *Rough Sets*, International Journal of Information and Computer Sciences 11 (1982), No 5, pp. 341 - 356.
- [Pawlak, 1992] Z. Pawlak: *Rough Sets. Theoretical Aspects of Reasoning about Data*, Kluwer Academic Publishers, 1992.
- [Pokojski, 1996] J. Pokojski: *The Integrated Product and Process Model for the Design of Gear Box*, Proceedings of the International Conference on Computer Integrated Manufacturing, Vol. III, pp. 367 - 372, Zakopane 1996.
- [Pokojski, Gil, Cichocki, 1999] J. Pokojski, M. Gil, P. Cichocki: *Inteligentny system do wspomagania procesu projektowania instalacji grzewczych*, III Szkoła „Komputerowe Wspomaganie Projektowania, Wytwarzania i Eksploatacji”, materiały konferencyjne, ss. 155 - 162, Szczyrk 1999.
- [Pokojski, Ostapski, Gawart, 1996] J. Pokojski, W. Ostapski, E. Gawart: *Model of Harmonic Drive Design Process*, Proceedings of the International Conference on Computer Integrated Manufacturing, Vol. III, pp. 361 - 365, Zakopane 1996.
- [Pokojski, Ostapski, 1997] J. Pokojski, W. Ostapski: *Plan Editor for Supporting Dynamic Analysis*, Proceedings of the 4th Workshop of the European Group for Structural Engineering (EG-EA-AI) held at Fellmanni Institute, pp. 159 - 163, Lahti, Finland, September 1 - 2, 1997.
- [Pokojski, Wróbel, 1995] J. Pokojski, J. Wróbel: *Inteligentne bazy danych dla systemów komputerowo wspomaganego projektowania maszyn*, XVII Sympozjon Podstaw Konstrukcji Maszyn, referaty naukowe cz. II, ss. 731 - 736, Lublin - Nałęczów 1995.
- [Porębska, Nawalany, 1991] M. Porębska, A. Nawalany: *Optymalizacja projektowania i doboru przekładni pasowej z pasem klinowym - wspomaganą komputerowo*, XV

- Symposium Podstaw Konstrukcji Maszyn, komunikaty cz. II, ss. 251 - 252, Zeszyty Naukowe Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów 1991.
- [Porębski, 1991] A. Porębski: *Projektowanie łożyskowania tocznego*, XV Symposium Podstaw Konstrukcji Maszyn, komunikaty cz. II, ss. 255 - 256, Zeszyty Naukowe Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów 1991.
- [Psiuk, Skarka, 1999] K. Psiuk, W. Skarka: *Nowe funkcje dokumentacji techniczno-ruchowej zastosowanej w systemach doradczych*, III Szkoła „Komputerowe Wspomaganie Projektowania, Wytwarzania i Eksploatacji”, materiały konferencyjne, ss. 553 - 562, Szczyrk 1999.
- [Puzoń, 1995] J. Puzoń: *System doradczy do wspomagania doboru technologii wytwarzania drutu*, Proceedings of the 4th International Scientific Conference Achievements in the Mechanical and Material Engineering, pp. 275-278, Gliwice 1995.
- [Quinlan, 1986] J. R. Quinlan: *Induction of Decision Trees*, Machine Learning 1 (1986), pp. 81 - 106.
- [Quinlan, 1993] J. R. Quinlan: *C4.5 Programs for Machine Learning*, Morgan Kaufmann, San Mateo, CA, 1993.
- [Samek, Kwaterna, 1997] A. Samek, M. Kwaterna: *Komputerowo wspomaganie projektowanie oprzyrządowania przedmiotowego z wykorzystaniem funkcji częściowych*, XI Konferencja „Metody i środki projektowania wspomaganego komputerowo”, ss. 325 - 332, Instytut Podstaw Budowy Maszyn, Politechnika Warszawska, Warszawa 1997.
- [Sileikis, 1998] W. Sileikis: *Komputerowe wspomaganie projektowania łożysk*, II Wiosenna Szkoła „Komputerowe wspomaganie projektowania, wytwarzania i eksploatacji”, referaty t. 1, ss. 31 - 38, Żegiestów, 11 - 15 maja 1998.
- [Silva, Dawson, 1997] J. C. Silva, D. Dawson: *The Development of an Expert System for Hydraulic Systems Design Focusing on Concurrent Engineering Aspects*, International Conference on Engineering Design ICED' 97, August 19 - 21, pp. 270 - 276, Tampere 1997.
- [Skarka, 1997] W. Skarka: *Wspomaganie procesu tworzenia dokumentacji techniczno-ruchowej dla wybranej grupy maszyn*, praca doktorska, Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej nr 129 - Mechanika, Gliwice 1997.
- [Szczepanik, Arciszewski, Wnek, 1995] W. Szczepanik, T. Arciszewski, J. Wnek: *Empirical Performance Comparison of Two Symbolic Learning Systems Based on Selective and Constructive Induction*, Workshop Notes of the IJCAI - 95 Workshop on Machine Learning in Engineering, Montréal, Québec, Canada 1995.
- [Śliwka, Kosmol, Klarecki, 1995] J. Śliwka, J. Kosmol, K. Klarecki: *Komputerowe wspomaganie projektowania korpusów*, Proceedings of the 4th International Scientific

Conference Achievements in the Mechanical and Material Engineering, pp. 325 - 328, Gliwice - Wiśła 1995.

- [Tadeusiewicz, 1993] R. Tadeusiewicz: *Sieci neuronowe*, Akademicka Oficyna Wydawnicza, Warszawa 1993.
- [Tarnowski, 1997] W. Tarnowski: *Podstawy projektowania technicznego*, seria: *Wspomaganie komputerowe CAD/CAM*, WNT, Warszawa 1997.
- [Tarnowski, 1998] W. Tarnowski: *Poliptymalizacja jako środek integracji w nowoczesnych systemach CAD*, XVI Ogólnopolska Konferencja „Poliptymalizacja i Komputerowe Wspomaganie Projektowania”, ss. 364 - 371, Mielno 1998.
- [Tong, Sriram, 1992] C. Tong, D. Sriram: *Artificial Intelligence in Engineering Design*, Vol. I, II, III, Academic Press, San Diego, CA 1992.
- [Wajand, Jędraszczyk, Parczewski, Wajand, Walter, 1990] J. A. Wajand, K. Jędraszczyk, K. Parczewski, J. T. Wajand, J. Walter: *Mikrokomputerowe obliczenia silnika spalinowego. Obliczenia do projektu wstępnego*, seria: *Wspomaganie komputerowe CAD/CAM*, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 1990.
- [Weiss, Kapouleas, 1989] S. M. Weiss, I. Kapouleas: *An Empirical Comparison of Pattern Recognition, Neural Nets and Machine Learning Classification Methods*, Proceedings of 11th International Joint Conference on Artificial Intelligence, 1989.
- [Wilk, Niedziela, Łazarz, 1991] A. Wilk, Z. Niedziela, B. Łazarz: *Wspomagane komputerowo konstruowanie walcowych przekładni zębatych*, Skrypt Politechniki Śląskiej nr 1582, Gliwice 1991.
- [Winkler, 1997] T. Winkler: *Komputerowy zapis konstrukcji*, seria: *Wspomaganie komputerowe CAD/CAM*, WNT, Warszawa 1997.
- [Wnek, 1993] J. Wnek: *Hypothesis-Driven Constructive Induction*, dissertation, George Mason University, Fairfax, VA 1993.
- [Wnek et al., 1995] J. Wnek, K. Kaufman, E. Bloedorn, R. S. Michalski: *Selective Induction Learning System AQ15c: The Method and User's Guide*, Center for Machine Learning and Inference, George Mason University, Fairfax, VA 1995.
- [Wyczółkowski, 1997] R. Wyczółkowski: *Zastosowanie systemów doradczych dla wspomagania wyboru algorytmu w obliczeniach inżynierskich*, I Wiosenna Szkoła „Oprogramowanie CAD/CAM w konstruowaniu i eksploatacji”, materiały konferencyjne ss. 151 - 158, Bochnia 1997.
- [Wyleżoł, 1996] M. Wyleżoł: *Zastosowanie drzew decyzyjnych do identyfikacji wiedzy konstrukcyjnej*, praca dyplomowa magisterska, Katedra Podstaw Konstrukcji Maszyn, Politechnika Śląska, Gliwice 1996.

[Wyleżoł, 1997] M. Wyleżoł: *Pozyskiwanie reguł doboru sprzęgieł z zastosowaniem drzew decyzyjnych*, XVIII Sympozjon Podstaw Konstrukcji Maszyn, cz. III, ss. 308-312, Kielce - Ameliówka 1997.

[Wyleżoł, 1998] M. Wyleżoł: *Zastosowanie formularza elektronicznego do wspomagania procesu pozyskiwania wiedzy diagnostycznej*, Konferencja nt. „Pozyskiwanie wiedzy z baz danych”, materiały konferencyjne nr 787, Wyd. Akademii Ekonomicznej, Wrocław 1998, ss. 98 - 106.

[Wyleżoł, 1998a] M. Wyleżoł: *Electronic Form - Editor for Acquisition of Empirical Rules from Experts for the Purpose of Diagnostics*, Intelligent Information Systems VII, Proceedings of the Workshop held in Malbork, Poland, pp. 231 - 234, June 15-19, 1998.

[FAG] Katalog FAG: *Łożyskowania toczne*, Publ. Nr 00 200/3PLA.

[INA, 1980] Katalog INA: *Einbaubeispiele für INA - Wälzlager*, 1980.

[SKF, 1981] Katalog SKF: *Katalog główny*, Katalog 3200 P, 1981.

BADANIE PRZYDATNOŚCI METOD INDUKCYJNYCH DO POZYSKIWANIA WIEDZY PROJEKTOWEJ

STRESZCZENIE

W pracy przedstawiono badania porównawcze indukcyjnych metod „uczenia maszynowego” do pozyskiwania wiedzy projektowej. Wiedza ta pozyskiwana jest w celu zapisania jej w bazie wiedzy systemu doradczego, wspomagającego projektanta w wykonywaniu prac o charakterze rutynowym.

Przedstawienie zagadnień związanych z przedmiotem badań rozpoczęto od opisu obiektu projektowania, głównych rodzajów projektowania oraz wybranych środków wspomagania projektowania. Omówiono środki reprezentacji danych i wiedzy projektowej, takie jak: stwierdzenia, reguły i drzewa decyzyjne. Wreszcie przedstawiono proces pozyskiwania wiedzy projektowej, zwracając uwagę na dwa podstawowe źródła tej wiedzy: dokumentację projektowo-konstrukcyjną i publikacje oraz specjalistów-projektantów. Identyfikacja przedmiotu badań pozwoliła na wybranie metod pozyskiwania wiedzy, metod oceny zawartości baz wiedzy oraz określenie miar oceny pozyskanej w trakcie badań wiedzy.

Omówiono sposób przygotowania przykładów uczących oraz opisano trzy podstawowe indukcyjne metody „uczenia maszynowego”: selektywną indukcję poprzez generowanie pokryć, indukcję reguł z zastosowaniem zbiorów przybliżonych i indukcję reguł z drzew decyzyjnych. Przedstawiono sposoby oceny wiedzy pozyskanej z zastosowaniem metod indukcyjnych, opisując formalne techniki określania ocen błędu oraz ich miary. Do pozyskiwania wiedzy od specjalistów zastosowano formularz „papierowy”.

Wymienione metody były podstawą do opracowania środków wspomagających proces pozyskiwania wiedzy projektowej. Do pozyskania wiedzy w sposób indukcyjny zastosowano udostępnione oprogramowanie działające zgodnie z wymienionymi wcześniej metodami, uzupełniając je o środki wspomagające bardziej efektywne prowadzenie badań porównawczych. Do pozyskiwania wiedzy od specjalistów-projektantów zastosowano formularze „papierowe”.

Opisano sposób przeprowadzenia badań porównawczych dla wybranej dziedziny zastosowania. Omówiono kryteria i zasady oceny klasyfikacji oraz kryteria i zasady oceny algorytmów pozyskiwania wiedzy. Przedstawiono sposób pozyskiwania przykładów uczących z dokumentacji projektowo-konstrukcyjnej, sposób wyboru atrybutów i wartości, sposób kwantowania wartości cech oraz reprezentację przykładów.

Wyniki przeprowadzonych badań porównawczych potwierdzają możliwość pozyskiwania wiedzy projektowej z różnych źródeł i łączenia tej wiedzy. Potwierdzono także merytoryczną poprawność pozyskanej wiedzy. Weryfikacja wybranych metod „uczenia maszynowego” pozwoliła na ocenę tych metod pod względem ich przydatności do pozyskiwania wiedzy projektowej o charakterze rutynowym.

Słowa i zwroty kluczowe: projektowanie i konstruowanie maszyn, system doradczy, baza danych, baza wiedzy, reguły, pozyskiwanie wiedzy od specjalistów, formularz „papierowy”, pozyskiwanie wiedzy poprzez „uczenie maszynowe”

Dziedzina: budowa i eksploatacja maszyn, komputerowe wspomaganie projektowania

COMPARATIVE STUDY OF MACHINE LEARNING METHODS IN DESIGN KNOWLEDGE ACQUISITION

SUMMARY

The comparative study of machine learning methods in design knowledge acquisition was presented in this dissertation. This knowledge is acquired in order to write it into a knowledge base of an expert system, which assists a designer in executing of routine tasks.

The presentation of problems concerning the subject of the research has begun with a description of the object of designing, the main types of design process and selected tools of aiding this process. The means of data and design knowledge representation as: statements, rules and decision trees were discussed. Then, the process of design knowledge acquisition was presented, with taking into consideration three main knowledge sources: technical documentation, professional literature and human experts-designers. The subject of research identification enabled the selection of methods of knowledge acquisition, methods of estimation of correctness of the knowledge bases and the measures of correctness of the acquired knowledge.

The way of preparing training examples and three basic inductive methods of machine learning: selective induction of rules by covers generation, induction of rules using rough sets and induction of rules from decision trees were described. The way of estimation of correctness of knowledge acquired using inductive methods and the measures of error estimations were presented. In order to acquire knowledge from designers, the "paper" forms were proposed.

The methods mentioned above were the basis for the development of tools, which aided the process of design knowledge acquisition. In order to acquire the knowledge in inductive way the available software was applied. In this software the above mentioned methods have been implemented. This software was supported by tools which enabled more effective carrying out of the comparative study. The "paper" forms were used in order to acquire of knowledge from experts-designers.

The way of performing the comparative study for chosen domain was described. The criteria and principles of estimations of classification and the criteria and principles of algorithms estimations for knowledge acquisition were discussed. The ways of training examples acquisition from technical documentation, attributes and values selection, quantization of attributes values and representation of examples were presented.

The results of comparative study confirmed the possibility of design knowledge acquisition from different knowledge sources. The content-related correctness of the acquired knowledge was also confirmed. The verification of the machine learning methods enabled the estimation of these methods with respect to their usability for the acquisition of design knowledge of routine character.

Keywords and phrases: designing of machinery, expert system, data base, knowledge base, rules, knowledge acquisition from experts, "paper" form, knowledge acquisition using machine learning methods

Domains: machine building and exploitation, computer-aided design

ZAŁĄCZNIKI

Załączniki A, B, C i D do rozprawy doktorskiej pt. „Badanie przydatności metod indukcyjnych do pozyskiwania wiedzy projektowej”, zawierają przygotowane przez autora zbiory przykładów uczących i pozyskane zbiory reguł dotyczące wyszczególnionych zadań projektowych, takich jak:

- dobór układu łożyskowania,
- dobór rodzaju łożyska tocznego,
- dobór sposobu ustalenia łożyska w kierunku osiowym,
- dobór uszczelnień.

W szczególności załączniki zawierają:

- 1) opisy dziedziny zastosowania,
- 2) zbiory przykładów uczących przy przyjętym początkowym systemie informacyjnym (rozdziały A.2, B.2, C.2, D.2); dla poszczególnych programów przygotowano identyczne (w sensie informacji zawartej w systemie informacyjnym) przykłady uczące; przykłady uczące przedstawiono w formacie wymaganym przez program AQ15c, ponieważ zapis ten jest najbardziej zbliżony do zapisu w języku naturalnym,
- 3) zbiory reguł pozyskane z zastosowaniem trzech programów indukcyjnych (rozdziały A.3, B.3, C.3, D.3); podobnie jak w punkcie 2), reguły pozyskane programami C4.5 oraz *Rosetta* przedstawiono w formacie reguł wygenerowanych przez program AQ15c, ponieważ zapis ten jest najbardziej zbliżony do zapisu w języku naturalnym,
- 4) wyniki klasyfikacji przykładów z zastosowaniem techniki *leave-one-out* przy przyjętym początkowym systemie informacyjnym (rozdziały A.3, B.3, C.3, D.3).

Opis dziedziny zastosowania obejmuje:

- wykaz rozpatrywanych rozwiązań projektowych i nadanych im identyfikatorów (punkty A.1.1, B.1.1, C.1.1, D.1.1),
- wykaz atrybutów zdefiniowanych dla rozwiązań projektowych i nadanych tym atrybutom identyfikatorów (punkty A.1.2, B.1.2, C.1.2, D.1.2),
- wykaz wartości jakościowych zdefiniowanych dla poszczególnych atrybutów rozwiązań projektowych i nadanych tym wartościom identyfikatorów oraz progi kwantowania wartości cech niezbędne w celu nadania wartościom ilościowym identyfikatorów jakościowych (punkty A.1.3, B.1.3, C.1.3, D.1.3).

Programy *AQ15c* oraz *C4.5* w trakcie generowania zbiorów reguł wyznaczają także odpowiednie liczby przykładów, które zostały zastosowane do pozyskania kolejnych reguł (np. t:23, u:21). Symbole te oznaczają:

t - liczba przykładów zastosowana do uogólnienia danej reguły przy czym przykłady te mogły pochodzić z różnych rozwiązań projektowych,

u - liczba przykładów zastosowana do uogólnienia danej reguły przy czym przykłady te pochodziły tylko z rozwiązania projektowego dla którego wygenerowano regułę.

Program *Rosetta* w trakcie generowania zbiorów reguł wyznacza m.in. wartości takie jak:

t - jak wyżej,

c - liczba określająca iloraz liczby przykładów zastosowanych do uogólnienia reguły dla danego rozwiązania do liczby wszystkich przykładów przypisanych temu samemu rozwiązaniu.

ZAŁĄCZNIK A

Dobór układu łożyskowania

A.1 Opis dziedziny zastosowania

A.1.1 Rozwiązania projektowe

Identyfikator rozwiązania	Nazwa rozwiązania projektowego
swob/swob	układ „łożysko swobodne / łożysko swobodne”
swob/ustal	układ „łożysko swobodne / łożysko ustalające”
ustal/ustal	układ „łożysko ustalające / łożysko ustalające”

A.1.2 Atrybuty

Identyfikator atrybutu	Nazwa atrybutu
obc_Fa	obciążenie osiowe
rozzsz_walu	czy występuje rozszerzalność cieplna wału?
smukl_walu	smukłość wału (= długość wału / średnica wału)
zm_kier_obc_os	czy występuje zmiana kierunku obciążenia osiowego?
ug_walu	ugięcie wału (kątowe wychylenie pierścieni łożyska)
m_przyl_obc	miejsce przyłożenia obciążenia promieniowego

A.1.3 Wartości cech

1) obc_Fa [N]

Progi kwantowania wartości cechy		Identyfikatory wartości cechy
ponad	do	
-	3952,905	b_male
3952,905	17361,621	male
17361,621	76254,270	sred
76254,270	334917,661	duze
334917,661	-	b_duze

2) rozsz_walu - przyjmuje wartości:

- a) tak
- b) nie

3) smukl_walu

Progi kwantowania wartości cechy		Identyfikatory wartości cechy
ponad	do	
-	1,675	b_mala
1,675	4,336	mala
4,336	11,223	sred
11,223	29,051	duza
29,051	-	b_duza

4) zm_kier_obc_os - przyjmuje wartości:

- a) tak
- b) nie

5) ug_walu [°]

Progi kwantowania wartości cechy		Identyfikatory wartości cechy
ponad	do	
-	0,0001781	b_male
0,0001781	0,0010595	male
0,0010595	0,0063030	sred
0,0063030	0,0374968	duze
0,0374968	-	b_duze

6) m_przyl_obc - przyjmuje wartości:

- a) posr (pomiędzy podporami)
- b) na_zewn (wysięgowo, poza podporami)
- c) posr+na_zewn (pomiędzy i poza podporami)

A.2 Zbiór przykładów uczących

```

title
# text
1 "Plik zawiera 46 przykladow - 3 rozwiazania projektowe."

parameters
run mode ambig trim wts maxstar echo verbose
1 ic pos mini cpx 10 p 1

domaintypes
type size name
lin 5 obc_Fa
nom 2 rozsz_walu
lin 5 smukl_walu
nom 2 zm_kier_obc_os
lin 5 ug_walu
nom 3 m_przyl_obc

variables
type size name
lin 5 obc_Fa
nom 2 rozsz_walu
lin 5 smukl_walu

```



```

nom    2  zm_kier_obc_os
lin    5  ug_walu
nom    3  m_przyl_obc

```

obc_Fa-names

```

value  name
0      b_male
1      male
2      sred
3      duze
4      b_duze

```

rozzsz_walu-names

```

value  name
0      tak
1      nie

```

smukl_walu-names

```

value  name
0      b_mala
1      mala
2      sred
3      duza
4      b_duza

```

zm_kier_obc_os-names

```

value  name
0      tak
1      nie

```

ug_walu-names

```

value  name
0      b_male
1      male
2      sred
3      duze
4      b_duze

```

m_przyl_obc-names

```

value  name
0      posr
1      na_zewn
2      posr+na_zewn

```

swob/swob-events

obc_Fa	rozzsz_walu	smukl_walu	zm_kier_obc_os	ug_walu	m_przyl_obc
b_male	tak	duza	nie	?	posr
male	nie	mala	nie	sred	posr

swob/ustal-events

obc_Fa	rozzsz_walu	smukl_walu	zm_kier_obc_os	ug_walu	m_przyl_obc
sred	tak	?	nie	?	posr
b_male	tak	duza	nie	b_duze	posr
b_male	tak	?	nie	?	posr
sred	nie	mala	nie	sred	na_zewn
b_duze	tak	sred	tak	sred	posr
duze	tak	b_mala	tak	b_male	posr
duze	tak	mala	tak	male	posr
b_male	tak	mala	tak	?	posr
duze	tak	b_mala	tak	b_male	posr
sred	tak	sred	tak	sred	posr
b_duze	tak	b_mala	tak	b_male	posr
male	tak	sred	nie	duze	posr+na_zewn
?	nie	sred	nie	?	posr+na_zewn
?	nie	sred	nie	?	posr+na_zewn
b_male	tak	?	nie	?	posr
b_male	tak	?	nie	?	posr

b_male	tak	sred	tak	?	posr+na_zewn
male	tak	duza	tak	?	posr
male	tak	sred	tak	?	posr
male	tak	sred	tak	?	posr
male	tak	sred	tak	?	posr
male	tak	sred	tak	?	posr
?	tak	?	nie	?	na_zewn
?	tak	?	nie	?	posr
b_male	tak	?	nie	?	na_zewn
male	nie	?	tak	?	posr+na_zewn
b_male	nie	?	tak	?	posr+na_zewn
b_male	tak	?	nie	?	na_zewn

ustal/ustal-events

obc_Fa	rozzs_walu	smukl_walu	zm_kier_obc_os	ug_walu	m_przyl_obc
sred	nie	mala	tak	?	posr
sred	nie	mala	tak	?	posr
b_male	nie	?	nie	?	posr
b_duze	nie	sred	nie	duze	posr
duze	nie	b_mala	nie	?	posr
sred	nie	sred	nie	sred	posr
b_male	nie	?	tak	?	posr
b_male	nie	?	nie	?	posr
male	nie	sred	tak	?	posr
male	nie	sred	tak	?	posr
male	nie	mala	tak	male	na_zewn
duze	nie	?	tak	?	na_zewn
duze	nie	?	tak	?	na_zewn
b_male	nie	?	nie	?	na_zewn
b_male	nie	?	nie	?	na_zewn
b_male	tak	?	nie	?	na_zewn

A.3 Zbiory reguł

A.3.1 Reguły pozyskane programem AQ15c oraz wyniki klasyfikacji techniką „leave-one-out”

parameters

run	mode	ambig	trim	wts	maxstar	echo	criteria	verbose
1	ic	pos	mini	cpx	10	p	default	1

swob/swob-outhypo

#	cpx							
1	[obc_Fa=b_male]	[rozzs_walu=tak]	[zm_kier_obc_os=nie]					(t:1, u:1)
		[m_przyl_obc=posr]						
2	[obc_Fa=male]	[zm_kier_obc_os=nie]	[m_przyl_obc=posr]					(t:1, u:1)

swob/ustal-outhypo

#	cpx							
1	[rozzs_walu=tak]							(t:23, u:21)
2	[m_przyl_obc=posr+na_zewn]							(t:6, u:4)
3	[obc_Fa=sred]	[m_przyl_obc=na_zewn]						(t:1, u:1)

ustal/ustal-outhypo

#	cpx							
1	[rozzs_walu=nie]	[zm_kier_obc_os=tak]						(t:8, u:5)
		[m_przyl_obc=posr,na_zewn]						
2	[obc_Fa=b_male]	[rozzs_walu=nie]	[m_przyl_obc=posr,na_zewn]					(t:5, u:4)
3	[obc_Fa=sred..b_duze]	[rozzs_walu=nie]	[m_przyl_obc=posr]					(t:5, u:3)
4	[rozzs_walu=tak]	[m_przyl_obc=na_zewn]						(t:1, u:1)

```

Liczba przykładów = 46.
- // - błędnie sklasyfikowanych = 4.
>>> Łączny błąd względny           = 0.087 (8.70 %).
>>> Względny błąd pominięcia       = 0.366 (36.61 %).
>>> Względny błąd niesłusznego zaliczenia = 0.059 (5.93 %).

```

*** Klasyfikacja przykładów do poszczególnych klas:

```

(0)          (1)          (2)          <- sklasyfikowany jako
-----          -----          -----
-             1             1             (0) kl: swob/swob <2>
-             27            1             (1) kl: swob/ustal <28>
-             1             15            (2) kl: ustal/ustal <16>

/|\
|
| <--- Błąd pominięcia           \|-> Błąd niesłusznego zaliczenia

```

A.3.2 Reguły pozyskane programem **C4.5** oraz wyniki klasyfikacji techniką „leave-one-out”

```

swob/swob-outhypo
# cpx

swob/ustal-outhypo
# cpx
1 [rozzsz_walu=tak] (t:25, u:2)
2 [m_przyl_obc=posr+na_zewn] (t:4, u:0)

ustal/ustal-outhypo
# cpx
1 [rozzsz_walu=nie] (t:17, u:2)

```

```

Liczba przykładów = 46.
- // - błędnie sklasyfikowanych = 4.
>>> Łączny błąd względny           = 0.087 (8.70 %).
>>> Względny błąd pominięcia       = 0.366 (36.61 %).
>>> Względny błąd niesłusznego zaliczenia = 0.059 (5.93 %).

```

*** Klasyfikacja przykładów do poszczególnych klas:

```

(0)          (1)          (2)          <- sklasyfikowany jako
-----          -----          -----
-             1             1             (0) kl: swob/swob <2>
-             27            1             (1) kl: swob/ustal <28>
-             1             15            (2) kl: ustal/ustal <16>

/|\
|
| <--- Błąd pominięcia           \|-> Błąd niesłusznego zaliczenia

```

A.3.3 Reguły pozyskane programem **Rosetta** oraz wyniki klasyfikacji techniką „leave-one-out”

```

swob/swob-outhypo
# cpx
1 [obc_Fa=b_male] [smukl_walu=duza] [ug_walu=?] (t:1, c:0.500000)

```

```

2 [obc_Fa=male] [ug_walu=sred] (t:1, c:0.500000)
swob/ustal-outhypo
# cpx
1 [obc_Fa=duze] [ug_walu=male] (t:1, c:0.035714)
2 [obc_Fa=sred] [rozzsz_walu=tak] (t:2, c:0.071429)
3 [obc_Fa=b_duze] [rozzsz_walu=tak] (t:2, c:0.071429)
4 [obc_Fa=male] [rozzsz_walu=tak] (t:6, c:0.214286)
5 [ug_walu=b_duze] (t:1, c:0.035714)
6 [ug_walu=b_male] (t:3, c:0.107143)
7 [rozzsz_walu=tak] [smukl_walu=?] [m_przyl_obc=posr] (t:5, c:0.178571)
8 [obc_Fa=sred] [m_przyl_obc=na_zewn] (t:1, c:0.035714)
9 [rozzsz_walu=tak] [smukl_walu=mala] (t:2, c:0.071429)
10 [m_przyl_obc=posr+na_zewn] (t:6, c:0.214286)
11 [obc_Fa=?] (t:4, c:0.142857)
12 [obc_Fa=male] [smukl_walu=duza] (t:1, c:0.035714)
13 [obc_Fa=b_male] [rozzsz_walu=tak] [m_przyl_obc=na_zewn] (t:2, c:0.071429)

ustal/ustal-outhypo
# cpx
1 [obc_Fa=b_duze] [ug_walu=duze] (t:1, c:0.062500)
2 [obc_Fa=male] [ug_walu=male] (t:1, c:0.062500)
3 [obc_Fa=duze] [rozzsz_walu=nie] (t:3, c:0.187500)
4 [obc_Fa=b_male] [rozzsz_walu=tak] [m_przyl_obc=na_zewn] (t:1, c:0.062500)
5 [obc_Fa=b_male] [rozzsz_walu=nie] [m_przyl_obc=posr] (t:3, c:0.187500)
6 [obc_Fa=b_male] [rozzsz_walu=nie] [m_przyl_obc=na_zewn] (t:2, c:0.125000)
7 [obc_Fa=sred] [rozzsz_walu=nie] [zm_kier_obc_os=tak] (t:2, c:0.125000)
8 [obc_Fa=b_male] [rozzsz_walu=nie] [zm_kier_obc_os=nie] (t:4, c:0.250000)
9 [obc_Fa=sred] [rozzsz_walu=nie] [smukl_walu=sred] (t:1, c:0.062500)
10 [obc_Fa=male] [rozzsz_walu=nie] [smukl_walu=sred] (t:2, c:0.125000)

```

Liczba przykładów = 46.

- // - błędnie sklasyfikowanych = 13.

>>> Łączny błąd względny = 0.283 (28.26 %).

>>> Względny błąd pominięcia = 0.467 (46.71 %).

>>> Względny błąd niesłusznego zaliczenia = 0.151 (15.06 %).

*** Klasyfikacja przykładów do poszczególnych klas:

```

(0)      (1)      (2)      <- sklasyfikowany jako
----      ----      ----
-         1         1         (0) kl: swob/swob <2>
1         23        2         (1) kl: swob/ustal <28> - 2 prz. nieskl.
1         4         10        (2) kl: ustal/ustal <16> - 1 prz. nieskl.

```

```

/|\      |
|      |
| <--- Błąd pominięcia      \|/---> Błąd niesłusznego zaliczenia

```

Spośród przykładów uczących dotyczących doboru układu łożyskowania najmniej przykładów zgromadzono dla rozwiązania układ „łożysko swobodne / łożysko swobodne” - tylko 2 przykłady. Powodowało to, iż mimo wygenerowania przez programy odpowiednich zbiorów reguł, przykłady testowe nie były klasyfikowane do tego rozwiązania.

ZAŁĄCZNIK B

Dobór rodzaju łożyska tocznego

B.1 Opis dziedziny zastosowania

B.1.1 Rozwiązania projektowe

Identyfikator rozwiązania	Nazwa rozwiązania projektowego
bar_2r	łożysko baryłkowe 2-rzędowe
bar_wzd	łożysko baryłkowe wzdłużne
igiel	łożysko igiełkowe
kul_sk	łożysko kulkowe skośne
kul_sk_2k	łożysko kulkowe skośne 2-kierunkowe
kul_sk_2r	łożysko kulkowe skośne 2-rzędowe
kul_wah	łożysko kulkowe wahliwe
kul_wzd	łożysko kulkowe wzdłużne
kul_zw	łożysko kulkowe zwykłe
stozk	łożysko stożkowe
stozk_2r	łożysko stożkowe 2-rzędowe
wal_2r	łożysko walcowe 2-rzędowe
wal_4r	łożysko walcowe 4-rzędowe
wal_bo	łożysko walcowe bez obrzeży
wal_zp	łożysko walcowe z pierścieniami (obrzeżami)

B.1.2 Atrybuty

Identyfikator atrybutu	Nazwa atrybutu
sr_walu	średnica wału pod łożysko
ogr_r	ograniczenie miejsca w kierunku promieniowym (= średnica wału / średnica zewn. łożyska)
ogr_a	ograniczenie miejsca w kierunku osiowym (= średnica wału / szerokość łożyska)
obc_Fr	obciążenie promieniowe
Fa/Fr	stan obciążenia (obciążenie promieniowe / obciążenie osiowe)
ug_walu	ugięcie wału (kątowne wychylenie pierścieni łożyska)
pr_obr	prędkość obrotowa wału
zm_kier_obc_os	czy występuje zmiana kierunku obciążenia osiowego?

B.1.3 Wartości cech

1) sr_walu [mm]

Progi kwantowania wartości cechy		Identyfikatory wartości cechy
ponad	do	
-	30,670	b_mala
30,670	72,353	mala
72,353	170,691	sred
170,691	402,687	duza
402,687	-	b_duza

2) ogr_r

Progi kwantowania wartości cechy		Identyfikatory wartości cechy
ponad	do	
-	0,49167	b_male
0,49167	0,56667	male
0,56667	0,64167	sred
0,64167	0,71667	duze
0,71667	-	b_duze

3) ogr_a

Progi kwantowania wartości cechy		Identyfikatory wartości cechy
ponad	do	
-	1,22208	b_male
1,22208	1,79216	male
1,79216	2,62820	sred
2,62820	3,85422	duze
3,85422	-	b_duze

4) obc_Fr [N]

Progi kwantowania wartości cechy		Identyfikatory wartości cechy
ponad	do	
-	525,427	b_male
525,427	4601,232	male
4601,232	40293,555	sred
40293,555	352855,616	duze
352855,616	-	b_duze

5) Fa/Fr

Progi kwantowania wartości cechy		Identyfikatory wartości cechy	Nazwy wartości cechy
ponad	do		
-	0,095	promien	(promieniowe)
0,095	0,181	pr_10_18_os	(promieniowe z 10-18% udziałem obciążenia osiowego)
0,181	0,345	pr_18_35_os	(promieniowe z 18-35% udziałem obciążenia osiowego)
0,345	0,655	pr_35_65_os	(promieniowe z 35-65% udziałem obciążenia osiowego)
0,655	1,245	pr_65_124_os	(promieniowe z 65-124% udziałem obciążenia osiowego)
1,245	2,366	pr_124_236_os	(promieniowe z 124-236% udziałem obciążenia osiowego)
2,366	-	osiowe	(osiowe)

6) ug_walu [°]

Progi kwantowania wartości cechy		Identyfikatory wartości cechy
ponad	do	
-	0,0001781	b_male
0,0001781	0,0010595	male
0,0010595	0,0063030	sred
0,0063030	0,0374968	duze
0,0374968	-	b_duze

7) pr_obr [obr/min]

Progi kwantowania wartości cechy		Identyfikatory wartości cechy
ponad	do	
-	12,356	b_mala
12,356	76,336	mala
76,336	471,602	sred
471,602	2913,560	duza
2913,560	-	b_duza

8) zm_kier_obc_os - przyjmuje wartości:

- a) tak
- b) nie

B.2 Zbiór przykładów uczących

```

title
# text
1 "Plik zawiera 387 przykladow - 15 rozwiazan projektowych."

parameters
run mode ambig trim wts maxstar echo verbose
1 ic pos mini cpx 10 p 1

```

```
domaintypes
type size name
lin 5 sr_walu
lin 5 ogr_r
lin 5 ogr_a
lin 5 obc_Fr
lin 7 Fa/Fr
lin 5 ug_walu
lin 5 pr_obr
nom 2 zm_kier_obc_os
```

```
variables
type size name
lin 5 sr_walu
lin 5 ogr_r
lin 5 ogr_a
lin 5 obc_Fr
lin 7 Fa/Fr
lin 5 ug_walu
lin 5 pr_obr
nom 2 zm_kier_obc_os
```

```
sr_walu-names
value name
0 b_mala
1 mala
2 sred
3 duza
4 b_duza
```

```
ogr_r-names
value name
0 b_male
1 male
2 sred
3 duze
4 b_duze
```

```
ogr_a-names
value name
0 b_male
1 male
2 sred
3 duze
4 b_duze
```

```
obc_Fr-names
value name
0 b_male
1 male
2 sred
3 duze
4 b_duze
```

```
Fa/Fr-names
value name
0 promien
1 pr_10_18_os
2 pr_18_35_os
3 pr_35_65_os
4 pr_65_124_os
5 pr_124_236_os
6 osiowy
```

```
ug_walu-names
value name
0 b_male
```


1	male
2	sred
3	duze
4	b_duze

pr_obr-names

value	name
0	b_mala
1	mala
2	sred
3	duza
4	b_duza

zm_kier_obc_os-names

value	name
0	nie
1	tak

bar_2r-events

sr_walu	ogr_r	ogr_a	obc_Fr	Fa/Fr	ug_walu	pr_obr	zm_kier_obc_os
duza	male	sred	duze	pr_18_35_os	?	mala	tak
duza	male	sred	duze	pr_18_35_os	?	mala	tak
duza	male	sred	duze	pr_10_18_os	?	mala	tak
duza	male	sred	duze	pr_10_18_os	?	mala	tak
duza	male	male	b_duze	promien	?	mala	tak
duza	male	male	b_duze	promien	?	mala	tak
duza	sred	male	b_duze	promien	duze	b_mala	tak
duza	sred	male	b_duze	pr_35_65_os	duze	b_mala	tak
duza	male	male	b_duze	promien	b_duze	duza	tak
duza	male	male	duze	promien	b_duze	duza	tak
sred	b_male	male	duze	promien	?	duza	tak
sred	duze	duze	sred	promien	duze	sred	tak
sred	duze	duze	sred	pr_18_35_os	duze	sred	tak
duza	sred	sred	duze	promien	?	sred	tak
sred	sred	male	duze	?	?	duza	tak
duza	male	male	duze	?	?	duza	tak
duza	duze	sred	duze	?	?	duza	tak
duza	male	male	duze	?	?	duza	tak
duza	duze	sred	duze	?	?	sred	tak
duza	duze	sred	duze	?	?	sred	tak
duza	b_duze	duze	duze	?	?	sred	tak
sred	sred	sred	duze	pr_18_35_os	?	sred	tak
sred	sred	sred	duze	pr_18_35_os	?	duza	tak
b_duza	duze	duze	duze	?	?	sred	tak
mala	b_male	male	duze	?	b_duze	sred	tak
mala	b_male	male	sred	?	b_duze	sred	tak
sred	b_male	male	duze	?	b_duze	mala	tak
sred	b_male	male	duze	?	b_duze	mala	tak
sred	male	sred	duze	?	?	mala	tak
duza	duze	sred	b_duze	?	?	mala	tak
duza	b_male	male	b_duze	?	?	mala	tak
duza	duze	sred	b_duze	?	?	mala	tak
duza	b_male	male	b_duze	?	?	mala	tak
sred	male	sred	sred	?	male	duza	tak
sred	male	sred	sred	pr_18_35_os	male	duza	tak
sred	b_male	male	sred	?	?	sred	tak
sred	b_male	male	sred	?	?	sred	tak
sred	male	sred	duze	?	?	sred	tak
sred	male	sred	duze	?	?	sred	tak
duza	male	sred	sred	pr_35_65_os	sred	mala	tak
duza	male	sred	duze	?	sred	mala	tak
mala	b_male	b_male	sred	?	?	duza	tak
mala	b_male	b_male	sred	?	?	duza	tak
sred	duze	sred	duze	?	?	sred	tak
mala	b_male	male	duze	promien	b_duze	sred	tak
mala	b_male	male	duze	promien	b_duze	sred	tak
mala	b_male	male	duze	promien	b_duze	sred	tak

duza	duze	sred	?	?	?	mala	tak
sred	duze	sred	?	?	?	mala	tak
sred	duze	sred	?	?	?	mala	tak
sred	duze	sred	?	?	?	mala	tak
sred	duze	sred	?	?	?	mala	tak
duza	male	sred	?	?	?	?	tak
duza	sred	sred	?	?	?	?	tak
sred	male	sred	?	?	?	?	tak
duza	male	sred	?	?	?	?	tak
duza	sred	sred	?	?	?	?	tak
duza	sred	sred	?	?	?	?	tak
sred	male	sred	?	?	?	?	tak
sred	male	sred	?	?	?	?	tak
duza	male	male	?	?	?	?	tak
sred	b_male	male	?	?	?	?	tak
sred	sred	sred	?	?	?	duza	tak
sred	sred	sred	?	?	?	duza	tak
sred	sred	sred	?	?	?	sred	tak
sred	sred	sred	?	?	?	sred	tak
sred	sred	sred	?	?	?	sred	tak
sred	sred	sred	?	?	?	sred	tak
sred	sred	sred	?	?	?	duza	tak
sred	sred	sred	?	?	?	duza	tak
sred	sred	sred	?	?	?	sred	tak
sred	sred	sred	?	?	?	sred	tak
sred	sred	sred	?	?	?	sred	tak
sred	sred	sred	?	?	?	sred	tak
sred	sred	sred	?	?	?	sred	tak
sred	sred	sred	?	?	?	sred	tak
sred	sred	sred	?	?	?	sred	tak
mala	male	male	?	?	?	duza	tak
mala	male	male	?	?	?	duza	tak
mala	male	male	?	?	?	duza	tak
mala	male	male	?	?	?	duza	tak
mala	b_male	male	?	?	?	sred	tak

bar_wzd-events

sr_walu	ogr_r	ogr_a	obc_Fr	Fa/Fr	ug_walu	pr_obr	zm_kier_obc_os
sred	male	male	duze	pr_124_236_os	?	b_mala	nie
sred	male	male	duze	?	?	duza	nie
sred	sred	sred	duze	?	?	duza	nie
duza	sred	duze	?	?	?	sred	nie
duza	male	sred	b_duze	?	?	sred	nie
duza	sred	duze	b_duze	?	?	sred	nie
sred	sred	sred	b_male	osiowy	?	sred	nie
sred	sred	sred	b_male	osiowy	?	duza	nie
sred	b_male	male	?	?	?	mala	nie
duza	male	sred	b_male	osiowy	?	mala	nie
duza	male	sred	b_male	osiowy	?	mala	nie
sred	sred	sred	b_male	osiowy	?	sred	nie
sred	b_male	male	b_male	osiowy	?	?	nie
sred	b_male	male	b_male	osiowy	?	?	nie
sred	male	male	b_male	osiowy	?	?	nie
sred	male	male	b_male	osiowy	?	?	nie
sred	male	male	b_male	osiowy	?	?	nie
sred	male	male	b_male	osiowy	?	?	nie
sred	b_male	male	?	?	?	?	nie
sred	b_male	male	?	?	?	?	nie

igiel-events

sr_walu	ogr_r	ogr_a	obc_Fr	Fa/Fr	ug_walu	pr_obr	zm_kier_obc_os
b_mala	sred	sred	male	promien	?	duza	nie
b_mala	duze	b_male	male	promien	?	duza	nie
mala	b_duze	sred	sred	?	?	mala	nie

kul_sk-events

sr_walu	ogr_r	ogr_a	obc_Fr	Fa/Fr	ug_walu	pr_obr	zm_kier_obc_os
sred	duze	b_duze	sred	pr_65_124_os	?	b_duza	nie
b_mala	b_male	male	b_male	promien	?	b_duza	nie
b_mala	male	sred	b_male	promien	?	b_duza	nie

mala	b_male	sred	?	?	?	duza	nie
mala	male	sred	b_male	osiowy	?	b_duza	nie
mala	male	sred	b_male	pr_124_236_os	?	b_duza	nie
mala	male	sred	b_male	osiowy	?	b_duza	nie
mala	male	sred	b_male	pr_124_236_os	?	b_duza	nie
mala	b_male	sred	male	?	?	sred	nie
mala	b_male	sred	sred	?	?	sred	nie
b_mala	b_male	sred	male	?	?	mala	nie
mala	b_male	sred	?	?	?	?	nie
b_mala	b_male	sred	?	?	?	?	nie

kul_sk_2k-events

sr_walu	ogr_r	ogr_a	obc_Fr	Fa/Fr	ug_walu	pr_obr	zm_kier_obc_os
mala	b_male	male	?	?	?	b_duza	tak
mala	b_male	male	?	?	?	b_duza	tak
mala	b_male	sred	?	?	?	b_duza	tak
mala	b_male	sred	?	?	?	b_duza	tak

kul_sk_2r-events

sr_walu	ogr_r	ogr_a	obc_Fr	Fa/Fr	ug_walu	pr_obr	zm_kier_obc_os
b_duza	duze	duze	?	?	?	?	tak
duza	b_duze	b_duze	?	?	?	mala	tak
b_duza	duze	duze	?	?	?	?	tak
duza	b_duze	b_duze	?	?	?	mala	tak
b_duza	duze	duze	?	?	?	?	tak
duza	b_duze	b_duze	?	?	?	sred	tak
b_duza	duze	duze	?	?	?	?	tak
duza	b_duze	b_duze	?	?	?	sred	tak
b_duza	duze	duze	?	?	?	?	tak
duza	b_duze	b_duze	?	?	?	sred	tak
b_duza	duze	duze	?	?	?	?	tak
duza	b_duze	b_duze	?	?	?	sred	tak
b_duza	duze	duze	?	?	?	?	tak
duza	b_duze	b_duze	?	?	?	sred	tak
b_mala	b_male	b_male	sred	pr_18_35_os	?	b_duza	tak
b_mala	b_male	b_male	sred	pr_18_35_os	?	b_duza	tak
b_mala	b_male	b_male	sred	pr_18_35_os	?	b_duza	tak
b_mala	b_male	b_male	male	promien	?	b_duza	tak

kul_wah-events

sr_walu	ogr_r	ogr_a	obc_Fr	Fa/Fr	ug_walu	pr_obr	zm_kier_obc_os
b_mala	b_male	sred	?	?	?	?	tak
mala	b_male	sred	?	?	?	sred	tak
mala	b_male	sred	?	?	?	sred	tak
mala	b_male	male	?	?	?	duza	tak
mala	b_male	male	?	?	?	duza	tak
mala	b_male	sred	?	?	?	sred	tak
mala	b_male	sred	?	?	?	sred	tak
mala	b_male	male	?	?	?	duza	tak
mala	b_male	male	?	?	?	duza	tak

kul_wzd-events

sr_walu	ogr_r	ogr_a	obc_Fr	Fa/Fr	ug_walu	pr_obr	zm_kier_obc_os
sred	b_duze	b_duze	?	?	?	duza	nie
sred	b_duze	b_duze	b_male	osiowy	?	duza	nie
mala	male	male	?	?	?	sred	nie
sred	duze	duze	b_male	osiowy	?	mala	nie
sred	duze	duze	b_male	osiowy	?	mala	nie
b_mala	b_male	b_male	?	?	?	?	nie
mala	sred	male	?	?	?	sred	nie

kul_zw-events

sr_walu	ogr_r	ogr_a	obc_Fr	Fa/Fr	ug_walu	pr_obr	zm_kier_obc_os
b_mala	b_male	male	male	promien	?	duza	tak
b_duza	duze	b_duze	?	?	?	mala	tak
duza	b_duze	b_duze	?	?	?	mala	tak
b_duza	duze	b_duze	?	?	?	mala	tak

duza	b_duze	b_duze	?	?	?	mala	tak
b_duza	duze	b_duze	?	?	?	sred	tak
duza	b_duze	b_duze	?	?	?	sred	tak
b_duza	duze	b_duze	?	?	?	sred	tak
duza	b_duze	b_duze	?	?	?	sred	tak
b_duza	duze	b_duze	?	?	?	sred	tak
duza	b_duze	b_duze	?	?	?	sred	tak
b_duza	duze	b_duze	?	?	?	sred	tak
duza	b_duze	b_duze	?	?	?	sred	tak
mala	b_male	sred	male	osiowy	duze	b_duza	tak
mala	male	duze	male	promien	?	b_duza	tak
mala	male	duze	sred	promien	?	duza	tak
b_mala	b_male	male	sred	pr_65_124_os	?	b_duza	tak
b_mala	b_male	male	male	pr_65_124_os	?	b_duza	tak
b_mala	b_male	male	male	pr_65_124_os	?	b_duza	tak
b_mala	b_male	male	male	pr_124_236_os	?	b_duza	tak
b_mala	b_male	male	sred	pr_35_65_os	?	duza	tak
b_mala	b_male	male	sred	pr_65_124_os	?	duza	tak
b_mala	b_male	male	sred	pr_65_124_os	?	duza	tak
b_mala	b_male	male	male	pr_124_236_os	?	b_duza	tak
mala	male	sred	b_male	osiowy	?	b_duza	tak
mala	male	sred	b_male	pr_124_236_os	?	b_duza	tak
sred	duze	b_duze	duze	?	sred	b_mala	tak
sred	duze	b_duze	sred	?	sred	b_mala	tak
mala	male	sred	sred	?	?	sred	tak
mala	b_duze	sred	male	?	?	sred	tak
b_mala	b_male	sred	sred	?	?	sred	tak
mala	sred	duze	?	?	?	?	tak
b_mala	b_male	male	?	?	?	?	tak
mala	b_male	sred	?	?	?	?	tak
mala	b_male	sred	?	?	?	?	tak
mala	sred	duze	?	?	?	mala	tak
sred	b_male	male	?	?	?	sred	tak
sred	sred	male	?	?	?	mala	tak
sred	sred	male	?	?	?	sred	tak
sred	duze	b_duze	?	?	?	mala	tak
sred	duze	b_duze	?	?	?	mala	tak
sred	duze	b_duze	?	?	?	?	tak
mala	male	sred	?	?	?	?	tak
mala	male	sred	?	?	?	?	tak
mala	male	sred	?	?	?	?	tak
mala	male	sred	?	?	?	?	tak

stozk-events

sr_walu	ogr_r	ogr_a	obc_Fr	Fa/Fr	ug_walu	pr_obr	zm_kier_obc_os
duza	male	sred	b_duze	pr_18_35_os	?	b_mala	nie
duza	male	sred	sred	pr_124_236_os	?	b_mala	nie
sred	b_male	sred	sred	pr_124_236_os	sred	duza	nie
sred	b_male	sred	sred	pr_65_124_os	sred	sred	nie
sred	b_male	sred	duze	pr_18_35_os	sred	sred	nie
b_mala	b_male	male	male	pr_35_65_os	?	duza	nie
b_mala	b_male	male	male	pr_35_65_os	?	duza	nie
b_mala	b_male	male	sred	pr_18_35_os	?	sred	nie
b_mala	b_male	male	sred	pr_35_65_os	?	sred	nie
b_mala	b_male	male	sred	pr_18_35_os	?	duza	nie
b_mala	b_male	male	sred	pr_18_35_os	?	duza	nie
b_mala	b_male	male	sred	pr_35_65_os	?	sred	nie
b_mala	b_male	male	sred	pr_18_35_os	?	sred	nie
mala	b_male	b_male	sred	pr_65_124_os	male	duza	nie
mala	b_male	b_male	sred	pr_65_124_os	male	duza	nie
mala	b_male	b_male	sred	pr_65_124_os	male	duza	nie
mala	b_male	b_male	sred	pr_65_124_os	male	b_duza	nie
b_mala	b_male	male	sred	pr_35_65_os	male	duza	nie
b_mala	b_male	male	sred	pr_35_65_os	male	duza	nie
b_mala	b_male	male	male	pr_35_65_os	male	duza	nie

b_mala	b_male	male	male	pr_35_65_os	male	b_duza	nie
sred	sred	duze	?	?	?	mala	nie
sred	sred	duze	?	?	?	duza	nie
b_mala	b_male	b_male	?	?	?	duza	nie
b_mala	b_male	b_male	?	?	?	duza	nie
b_mala	b_male	b_male	?	?	?	duza	nie
b_mala	b_male	b_male	?	?	?	duza	nie
b_mala	b_male	b_male	?	?	?	duza	nie
b_mala	b_male	b_male	?	?	?	duza	nie
b_mala	b_male	b_male	?	?	?	duza	nie
sred	sred	duze	?	?	?	?	nie
sred	sred	duze	?	?	?	?	nie
sred	sred	duze	?	?	?	?	nie
sred	sred	duze	?	?	?	?	nie

stozk_2r-events

sr_walu	ogr_r	ogr_a	obc_Fr	Fa/Fr	ug_walu	pr_obr	zm_kier_obc_os
sred	duze	male	duze	promien	?	mala	tak
b_duza	duze	male	b_duze	pr_35_65_os	sred	mala	tak
b_duza	b_duze	duze	duze	pr_65_124_os	b_male	mala	tak
b_duza	duze	male	b_duze	pr_18_35_os	male	mala	tak
b_duza	duze	male	b_duze	promien	?	mala	tak
b_duza	b_duze	duze	b_duze	pr_18_35_os	b_male	mala	tak
b_duza	duze	male	b_duze	promien	sred	mala	tak
b_duza	b_duze	duze	b_duze	pr_65_124_os	b_male	mala	tak
b_duza	duze	male	b_duze	pr_18_35_os	male	mala	tak
b_duza	b_duze	duze	b_duze	pr_35_65_os	b_male	mala	tak

wal_2r-events

sr_walu	ogr_r	ogr_a	obc_Fr	Fa/Fr	ug_walu	pr_obr	zm_kier_obc_os
b_duza	duze	sred	duze	promien	sred	mala	?
b_duza	duze	sred	b_duze	promien	b_male	mala	?
b_duza	duze	sred	b_duze	promien	?	mala	?
b_duza	duze	sred	duze	promien	sred	mala	?
b_duza	duze	sred	b_duze	promien	b_male	mala	?
duza	b_duze	sred	?	?	?	mala	?
duza	b_duze	sred	?	?	?	mala	?
duza	b_duze	sred	?	?	?	sred	?
duza	b_duze	sred	?	?	?	sred	?
duza	b_duze	sred	?	?	?	sred	?
duza	b_duze	sred	?	?	?	sred	?
duza	b_duze	sred	?	?	?	sred	?
duza	duze	male	duze	promien	?	sred	?
mala	duze	sred	?	?	?	mala	?
mala	duze	sred	?	?	?	duza	?
sred	duze	duze	?	?	?	duza	?
sred	duze	sred	?	?	?	duza	?
sred	sred	sred	?	?	?	duza	?
mala	duze	male	sred	?	?	mala	?
mala	duze	male	sred	?	?	mala	?
sred	duze	b_male	b_duze	?	?	sred	?
sred	duze	b_male	duze	?	?	sred	?
mala	sred	b_male	?	?	?	mala	?
sred	b_male	male	?	?	?	sred	?
sred	sred	male	?	?	?	mala	?
sred	sred	male	?	?	?	sred	?
sred	b_duze	male	b_duze	promien	?	mala	?
sred	b_duze	male	duze	promien	?	mala	?
sred	b_duze	male	b_duze	promien	?	mala	?
sred	b_duze	male	duze	promien	?	mala	?
sred	duze	b_male	?	?	?	?	?
sred	duze	b_male	?	?	?	sred	?

wal_4r-events

sr_walu	ogr_r	ogr_a	obc_Fr	Fa/Fr	ug_walu	pr_obr	zm_kier_obc_os
b_duza	duze	b_male	b_duze	promien	?	?	?

b_duza	duze	b_male	b_duze	promien	?	?	?
b_duza	duze	b_male	b_duze	promien	?	?	?
b_duza	duze	b_male	b_duze	promien	?	?	?
b_duza	duze	b_male	b_duze	promien	?	?	?
b_duza	duze	b_male	b_duze	promien	?	?	?
b_duza	duze	b_male	b_duze	promien	?	?	?
duza	b_duze	male	b_duze	?	?	mala	?

wal_bo-events

sr_walu	ogr_r	ogr_a	obc_Fr	Fa/Fr	ug_walu	pr_obr	zm_kier_obc_os
duza	male	male	b_duze	promien	?	mala	nie
b_duza	b_duze	b_duze	b_duze	promien	male	mala	nie
b_duza	b_duze	b_duze	b_duze	promien	b_male	mala	nie
b_duza	b_duze	b_duze	b_duze	promien	male	mala	nie
b_duza	b_duze	b_duze	b_duze	promien	b_male	mala	nie
mala	b_male	sred	sred	promien	duze	b_duza	nie
mala	male	male	?	?	?	b_duza	nie
mala	male	male	?	?	?	b_duza	nie
mala	male	sred	?	?	?	b_duza	nie
mala	male	sred	?	?	?	b_duza	nie
sred	duze	duze	sred	promien	duze	duza	nie
sred	duze	duze	sred	promien	duze	duza	nie
sred	duze	duze	sred	promien	duze	duza	nie
sred	duze	duze	sred	promien	duze	duza	nie
b_mala	sred	male	sred	promien	?	b_duza	nie
b_mala	sred	male	male	promien	?	b_duza	nie
b_mala	sred	male	male	promien	?	b_duza	nie
b_mala	sred	male	male	promien	?	b_duza	nie
b_mala	duze	male	male	promien	?	b_duza	nie
b_mala	duze	male	male	promien	?	duza	nie
b_mala	duze	male	male	promien	?	duza	nie
b_mala	duze	male	sred	promien	?	duza	nie
duza	duze	b_duze	?	?	?	duza	nie
sred	duze	duze	sred	promien	?	b_duza	nie
mala	male	male	sred	?	?	mala	nie

wal_zp-events

sr_walu	ogr_r	ogr_a	obc_Fr	Fa/Fr	ug_walu	pr_obr	zm_kier_obc_os
duza	male	male	b_duze	promien	?	mala	tak
sred	b_male	male	duze	promien	sred	duza	tak
sred	male	duze	sred	pr_10_18_os	duze	duza	tak
sred	male	duze	sred	pr_10_18_os	duze	duza	tak
sred	male	duze	sred	pr_10_18_os	duze	duza	tak
sred	male	male	duze	?	?	duza	tak
duza	duze	b_duze	?	?	?	?	tak
duza	duze	b_duze	?	?	?	?	tak

B.3 Zbiory reguł

B.3.1 Reguły pozyskane programem **AQ15c** oraz wyniki klasyfikacji techniką „leave-one-out”

```

parameters
run   mode   ambig   trim   wts   maxstar   echo   criteria   verbose
1     ic     pos     mini   cpx    10        p      default    1

bar_2r-outhypo
#     cpx
1     [sr_walu=sred..duza] [ogr_r=male..duze] [ogr_a=sred..duze] (t:60, u:13)
     [pr_obr=b_mala..sred] [zm_kier_obc_os=tak]
2     [sr_walu=sred..duza] [ogr_r=b_male..male] [ogr_a=male..sred] (t:50, u:32)

```

```

    [zm_kier_obc_os=tak]
3  [sr_walu=mala] [ogr_r=b_male..male] [ogr_a=male] (t:28, u:28)
   [pr_obr=mala..duza] [zm_kier_obc_os=tak]
4  [sr_walu=duza] [ogr_r=duze] [ogr_a=sred] (t:19, u:1)
5  [sr_walu=sred..duza] [ogr_r=sred] [ogr_a=sred] (t:18, u:8)
   [zm_kier_obc_os=tak]
6  [sr_walu=b_mala] [ogr_a=male] [zm_kier_obc_os=tak] (t:6, u:6)
7  [ogr_r=sred] [ogr_a=male] [pr_obr=b_mala] (t:6, u:6)
8  [sr_walu=mala] [ogr_r=b_male] [ogr_a=b_male] [pr_obr=duza] (t:2, u:2)
   [zm_kier_obc_os=tak]
9  [sr_walu=duza] [ogr_a=duze] [zm_kier_obc_os=tak] (t:2, u:1)
10 [ogr_r=sred] [ogr_a=male] [pr_obr=duza] (t:1, u:1)
11 [sr_walu=b_duza] [ogr_r=duze] [ogr_a=duze] (t:1, u:1)

bar_wzd-outhypo
# cpx
1  [sr_walu=sred..duza] [ogr_r=male..sred] [ogr_a=sred] (t:7, u:7)
   [pr_obr=mala..duza] [zm_kier_obc_os=nie]
2  [sr_walu=sred] [ogr_r=male] [zm_kier_obc_os=nie] (t:6, u:6)
3  [sr_walu=sred] [ogr_r=b_male] [ogr_a=male] (t:5, u:5)
   [zm_kier_obc_os=nie]
4  [sr_walu=duza] [ogr_a=duze] [zm_kier_obc_os=nie] (t:2, u:2)

igiel-outhypo
# cpx
1  [sr_walu=b_mala] [ogr_r=sred] [ogr_a=sred] (t:1, u:1)
2  [sr_walu=b_mala] [ogr_r=duze] [ogr_a=b_male] (t:1, u:1)
3  [sr_walu=mala] [ogr_r=b_duze] [obc_Fr=sred] (t:1, u:1)

kul_sk-outhypo
# cpx
1  [sr_walu=b_mala..mala] [ogr_r=b_male] [ogr_a=sred] (t:6, u:6)
   [zm_kier_obc_os=nie]
2  [sr_walu=mala] [ogr_r=male] [ogr_a=sred] (t:4, u:4)
   [zm_kier_obc_os=nie]
3  [sr_walu=b_mala] [ogr_a=male..sred] [obc_Fr=b_male] (t:2, u:2)
   [zm_kier_obc_os=nie]
4  [ogr_a=b_duze] [pr_obr=b_duza] [zm_kier_obc_os=nie] (t:1, u:1)

kul_sk_2k-outhypo
# cpx
1  [sr_walu=mala] [ogr_r=b_male] [pr_obr=b_duza] (t:4, u:4)
   [zm_kier_obc_os=tak]

kul_sk_2r-outhypo
# cpx
1  [sr_walu=b_duza] [ogr_r=duze] [ogr_a=duze] (t:7, u:7)
2  [ogr_r=b_duze] [ogr_a=b_duze] [zm_kier_obc_os=tak] (t:7, u:7)
3  [sr_walu=b_mala] [ogr_a=b_male] [zm_kier_obc_os=tak] (t:4, u:4)

kul_wah-outhypo
# cpx
1  [ogr_r=b_male] [ogr_a=sred] [pr_obr=sred] (t:4, u:4)
   [zm_kier_obc_os=tak]
2  [sr_walu=mala] [ogr_r=b_male] [ogr_a=male] [pr_obr=duza] (t:4, u:4)
3  [sr_walu=b_mala] [ogr_a=sred] [zm_kier_obc_os=tak] (t:1, u:1)

kul_wzd-outhypo
# cpx
1  [ogr_r=b_duze] [pr_obr=duza] (t:2, u:2)
2  [sr_walu=mala] [ogr_r=male..sred] [ogr_a=male] [pr_obr=sred] (t:2, u:2)
3  [ogr_r=duze] [ogr_a=duze] [pr_obr=mala] [zm_kier_obc_os=nie] (t:2, u:2)
4  [sr_walu=b_mala] [ogr_r=b_male] [ogr_a=b_male] (t:1, u:1)
   [zm_kier_obc_os=nie]

```



```

kul_zw-outhypo
# cpx
1 [sr_walu=mala] [ogr_r=male..sred] [ogr_a=sred..duze] (t:11, u:11)
  [zm_kier_obc_os=tak]
2 [sr_walu=b_mala] [ogr_a=male..sred] [zm_kier_obc_os=tak] (t:11, u:10)
3 [sr_walu=b_duza] [ogr_r=duze] [ogr_a=b_duze] (t:7, u:7)
4 [sr_walu=duza] [ogr_r=b_duze] [ogr_a=b_duze] (t:7, u:7)
5 [sr_walu=sred] [ogr_a=b_duze] [zm_kier_obc_os=tak] (t:5, u:5)
6 [ogr_r=b_male] [ogr_a=sred] [zm_kier_obc_os=tak] (t:4, u:3)
7 [ogr_r=sred] [ogr_a=male] [pr_obr=mala..sred] (t:2, u:2)
  [zm_kier_obc_os=tak]
8 [sr_walu=mala] [ogr_r=b_duze] [zm_kier_obc_os=tak] (t:1, u:1)
9 [sr_walu=sred] [ogr_r=b_male] [pr_obr=sred] (t:1, u:1)
  [zm_kier_obc_os=tak]

stozk-outhypo
# cpx
1 [ogr_r=b_male] [ogr_a=b_male] [zm_kier_obc_os=nie] (t:12, u:12)
2 [sr_walu=b_mala] [ogr_a=male] (t:8, u:8)
  [Fa/Fr=pr_18_35_os..pr_35_65_os] [zm_kier_obc_os=nie]
3 [sr_walu=sred] [ogr_r=sred] [ogr_a=duze] (t:6, u:6)
4 [sr_walu=b_mala] [ogr_r=male] [obc_Fr=male..sred] (t:4, u:4)
5 [sr_walu=sred] [ogr_r=b_male] [ogr_a=sred] (t:3, u:3)
6 [sr_walu=duza] [pr_obr=b_mala] [zm_kier_obc_os=nie] (t:2, u:2)

stozk_2r-outhypo
# cpx
1 [ogr_r=duze] [ogr_a=male] [obc_Fr=duze..b_duze] (t:6, u:6)
  [pr_obr=mala]
2 [ogr_r=b_duze] [ogr_a=duze] [pr_obr=mala] (t:4, u:4)

wal_2r-outhypo
# cpx
1 [sr_walu=duza] [ogr_r=b_duze] [ogr_a=sred] (t:7, u:7)
2 [sr_walu=b_duza] [ogr_a=sred] (t:5, u:5)
3 [sr_walu=mala..sred] [ogr_r=sred..duze] [ogr_a=b_male] (t:5, u:2)
4 [sr_walu=sred..duza] [ogr_r=sred..duze] [ogr_a=b_male..male] (t:5, u:2)
  [pr_obr=sred]
5 [sr_walu=mala] [ogr_r=duze] (t:4, u:4)
6 [sr_walu=sred] [ogr_r=b_duze] [ogr_a=male] (t:4, u:4)
7 [sr_walu=sred] [ogr_r=sred..duze] [ogr_a=sred] [pr_obr=duza] (t:2, u:2)
8 [sr_walu=sred] [ogr_r=b_male] [ogr_a=male] [pr_obr=sred] (t:1, u:1)
9 [ogr_r=sred] [ogr_a=male] [pr_obr=mala] (t:1, u:1)
10 [sr_walu=sred] [ogr_r=duze] [ogr_a=duze] [pr_obr=duza] (t:1, u:1)

wal_4r-outhypo
# cpx
1 [sr_walu=b_duza] [ogr_a=b_male] (t:7, u:7)
2 [sr_walu=duza] [ogr_r=b_duze] [ogr_a=male] (t:1, u:1)

wal_bo-outhypo
# cpx
1 [sr_walu=b_mala..mala] [ogr_r=male..duze] [ogr_a=male] (t:10, u:8)
  [pr_obr=duza..b_duza] [zm_kier_obc_os=nie]
2 [sr_walu=duza..b_duza] [ogr_a=b_duze] [zm_kier_obc_os=nie] (t:5, u:5)
3 [ogr_r=duze] [ogr_a=duze] [Fa/Fr=promien] (t:5, u:5)
  [zm_kier_obc_os=nie]
4 [sr_walu=mala] [ogr_r=male] [pr_obr=b_duza] (t:4, u:2)
  [zm_kier_obc_os=nie]
5 [ogr_r=male] [obc_Fr=sred,b_duze] [pr_obr=mala] (t:2, u:2)
  [zm_kier_obc_os=nie]
6 [sr_walu=mala] [Fa/Fr=promien] [pr_obr=b_duza] (t:1, u:1)
  [zm_kier_obc_os=nie]

wal_zp-outhypo
# cpx
1 [sr_walu=sred] [ogr_r=male] [ogr_a=duze] (t:4, u:4)

```

```

2 [sr_walu=sred] [ogr_r=b_male..male] [ogr_a=male] (t:2, u:2)
  [pr_obr=duza] [zm_kier_obc_os=tak]
3 [sr_walu=duza] [ogr_r=duze] [ogr_a=b_duze] (t:2, u:2)
  [zm_kier_obc_os=tak]
4 [ogr_r=male] [ogr_a=male] [pr_obr=mala] [zm_kier_obc_os=tak] (t:1, u:1)

```

Liczba przykładów = 387.

- // - błędnie sklasyfikowanych = 57.

>>> Łączny błąd względny = 0.147 (14.73 %).

>>> Względny błąd pominięcia = 0.216 (21.56 %).

>>> Względny błąd niesłusznego zaliczenia = 0.012 (1.16 %).

*** Klasyfikacja przykładów do poszczególnych klas:

```

(0) (1) (2) (3) (4) (5) (6) (7) (8) (9) (10) (11) (12) (13) (14) <- sklasyfikowany jako
-----
130 - - - - 1 6 - 6 - 1 - - - 2 (0) kl: bar_2r <146>
- 19 - - - - - - - - - 1 - - - (1) kl: bar_wzd <20>
1 - - - - - - - 1 1 - - - - (2) kl: igiel <3>
- - - 10 - - - - 1 1 - - 1 - (3) kl: kul_sk <13>
- - - - 4 - - - - - - - - - (4) kl: kul_sk_2k <4>
- - - - - 18 - - - - - - - - (5) kl: kul_sk_2r <18>
- - - - - 8 - 1 - - - - - - (6) kl: kul_wah <9>
- - - - - - 4 - 1 - 1 - 1 - (7) kl: kul_wzd <7>
2 - 1 - 1 7 1 - 34 - - 2 - - - (8) kl: kul_zw <48>
1 - - - - - - - - 34 - - - - (9) kl: stozk <35>
1 - - - - - - - - - 8 1 - - - (10) kl: stozk_2r <10>
3 - - - - - - - 1 - - 28 - - - (11) kl: wal_2r <32>
- - - - - - - - - 1 7 - - - (12) kl: wal_4r <8>
1 - - 3 - - - - - - - - 20 1 (13) kl: wal_bo <25>
3 - - - - - - - - - - - - 6 (14) kl: wal_zp <9>

```

```

/|\
|
| <--- Błąd pominięcia
|\ /---> Błąd niesłusznego zaliczenia

```

B.3.2 Reguły pozyskane programem C4.5 oraz wyniki klasyfikacji techniką „leave-one-out”

```

bar_2r-outhypo
# cpx
1 [sr_walu=b_mala..b_duza] [ogr_r=sred..b_duze] (t:51, u:0)
  [ogr_a=sred..duze] [zm_kier_obc_os=tak]
2 [sr_walu=b_mala..mala] [ogr_a=b_male..male] (t:22, u:0)
  [pr_obr=b_mala..sred] [zm_kier_obc_os=tak]
3 [sr_walu=b_mala..b_duza] [ogr_a=b_male..sred] (t:64, u:7)
  [zm_kier_obc_os=tak]
4 [sr_walu=b_mala..b_duza] [ogr_a=b_male..male] (t:16, u:4)
  [pr_obr=b_mala..duza] [zm_kier_obc_os=tak]

```

```

bar_wzd-outhypo
# cpx
1 [sr_walu=sred..b_duza] [ogr_r=b_male..sred] [Fa/Fr=osiowy] (t:11, u:0)
2 [sr_walu=sred..b_duza] [ogr_a=b_male..male] (t:6, u:1)
  [zm_kier_obc_os=nie]
3 [sr_walu=sred..b_duza] [ogr_r=male..sred] (t:5, u:1)
  [pr_obr=sred..b_duza] [zm_kier_obc_os=nie]

```

```

igiel-outhypo
#   cpx

kul_sk-outhypo
#   cpx
1   [sr_walu=b_mala..mala] [ogr_r=b_male] [ogr_a=sred..b_duze]      (t:7, u:1)
    [zm_kier_obc_os=nie]
2   [sr_walu=b_mala..b_duza] [ogr_r=b_male..sred]                  (t:6, u:2)
    [ogr_a=sred..b_duze] [zm_kier_obc_os=nie]

kul_sk_2k-outhypo
#   cpx
1   [sr_walu=mala..b_duza] [ogr_r=b_male] [pr_obr=b_duza]          (t:5, u:1)
    [zm_kier_obc_os=tak]

kul_sk_2r-outhypo
#   cpx
1   [ogr_a=b_male] [pr_obr=b_duza] [zm_kier_obc_os=tak]            (t:4, u:0)
2   [sr_walu=b_duza] [ogr_r=b_male..duze] [ogr_a=duze]            (t:8, u:1)
3   [ogr_r=b_duze] [ogr_a=b_duze] [zm_kier_obc_os=tak]            (t:14, u:7)

kul_wah-outhypo
#   cpx
1   [ogr_r=b_male] [ogr_a=sred..b_duze] [pr_obr=b_mala..duza]      (t:5, u:1)
    [zm_kier_obc_os=tak]

kul_wzd-outhypo
#   cpx
1   [ogr_r=duze..b_duze] [Fa/Fr=pr_35_os..osiowy]                 (t:4, u:1)
    [zm_kier_obc_os=nie]
2   [sr_walu=b_mala..mala] [ogr_r=b_male..sred]                   (t:3, u:1)
    [pr_obr=b_mala..duza] [zm_kier_obc_os=nie]

kul_zw-outhypo
#   cpx
1   [sr_walu=b_mala..mala] [ogr_r=male..b_duze]                   (t:12, u:0)
    [ogr_a=sred..b_duze] [zm_kier_obc_os=tak]
2   [sr_walu=b_duza] [ogr_a=b_duze] [zm_kier_obc_os=tak]          (t:7, u:0)
3   [sr_walu=b_mala] [ogr_a=male..b_duze] [pr_obr=b_duza]         (t:5, u:0)
    [zm_kier_obc_os=tak]
4   [sr_walu=b_mala..sred] [ogr_a=b_duze] [zm_kier_obc_os=tak]    (t:5, u:0)
5   [sr_walu=b_mala] [pr_obr=b_mala..b_duza] [zm_kier_obc_os=tak] (t:4, u:0)

stozk-outhypo
#   cpx
1   [sr_walu=b_mala] [Fa/Fr=pr_18_os..osiowy]                     (t:12, u:0)
    [zm_kier_obc_os=nie]
2   [sr_walu=b_mala..mala] [ogr_r=b_male] [ogr_a=b_male..male]     (t:14, u:2)
    [zm_kier_obc_os=nie]
3   [sr_walu=sred..b_duza] [ogr_r=b_male..sred]                   (t:5, u:0)
    [ogr_a=sred..b_duze] [Fa/Fr=promien..pr_124_os]
    [zm_kier_obc_os=nie]
4   [ogr_r=b_male..sred] [ogr_a=duze..b_duze]                     (t:5, u:0)
    [zm_kier_obc_os=nie]

stozk_2r-outhypo
#   cpx
1   [sr_walu=b_duza] [ogr_a=b_male..sred] [zm_kier_obc_os=tak]     (t:5, u:0)
2   [sr_walu=b_duza] [ogr_r=b_duze] [zm_kier_obc_os=tak]          (t:4, u:0)

wal_2r-outhypo
#   cpx
1   [sr_walu=b_duza] [ogr_a=sred]                                   (t:5, u:0)
2   [sr_walu=sred..duza] [ogr_r=b_duze] [ogr_a=b_male..duze]      (t:13, u:2)
3   [sr_walu=sred..duza] [ogr_a=b_male]                             (t:4, u:0)

```

```

wal_4r-outhypo
# cpx
1 [sr_walu=b_duza] [ogr_a=b_male] (t:7, u:0)

wal_bo-outhypo
# cpx
1 [ogr_r=male..b_duze] [ogr_a=b_male..male] [pr_obr=b_duza] (t:7, u:0)
2 [ogr_r=duze..b_duze] [zm_kier_obc_os=nie] (t:16, u:3)

wal_zp-outhypo
# cpx
1 [sr_walu=sred..b_duza] [ogr_r=b_male..male] (t:4, u:0)
  [ogr_a=duze..b_duze]
2 [sr_walu=b_mala..b_duza] [ogr_r=b_male..duze] [ogr_a=b_duze] (t:2, u:0)
  [zm_kier_obc_os=tak]

```

Liczba przykładów = 387.

- // - błędnie sklasyfikowanych = 62.

>>> Łączny błąd względny = 0.160 (16.02 %).

>>> Względny błąd pominięcia = 0.321 (32.09 %).

>>> Względny błąd niesłusznego zaliczenia = 0.013 (1.26 %).

*** Klasyfikacja przykładów do poszczególnych klas:

(0)	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	<- sklasyfikowany jako
142	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	3	-	-	-	(0) kl: bar_2r <146>
-	18	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-	(1) kl: bar_wzd <20>
-	-	-	1	-	-	-	-	-	1	-	-	-	1	-	(2) kl: igiel <3>
-	-	-	10	-	-	-	-	-	2	-	-	-	1	-	(3) kl: kul_sk <13>
-	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-	(4) kl: kul_sk_2k <4>
-	-	-	-	-	11	-	-	7	-	-	-	-	-	-	(5) kl: kul_sk_2r <18>
4	-	-	-	-	-	4	-	-	-	-	1	-	-	-	(6) kl: kul_wah <9>
-	-	-	-	-	-	-	3	-	1	-	-	-	3	-	(7) kl: kul_wzd <7>
4	-	-	-	1	7	1	-	32	-	-	3	-	-	-	(8) kl: kul_zw <48>
-	3	-	-	-	-	-	-	-	32	-	-	-	-	-	(9) kl: stozk <35>
1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9	-	-	-	-	(10) kl: stozk_2r <10>
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	32	-	-	-	(11) kl: wal_2r <32>
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	7	-	-	(12) kl: wal_4r <8>
-	1	-	3	-	-	-	-	-	1	-	-	-	19	1	(13) kl: wal_bo <25>
3	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-	4	(14) kl: wal_zp <9>

```

/|\
|
| <--- Błąd pominięcia
|\ /---> Błąd niesłusznego zaliczenia

```

B.3.3 Reguły pozyskane programem **Rosetta** oraz wyniki klasyfikacji techniką „leave-one-out”

```

bar_2r-outhypo
# cpx
1 [sr_walu=duza] [obc_Fr=duze] [Fa/Fr=pr_18_35_os] (t:2, c:0.013699)
2 [sr_walu=duza] [Fa/Fr=pr_10_18_os] (t:2, c:0.013699)
3 [sr_walu=duza] [Fa/Fr=pr_35_65_os] (t:2, c:0.013699)
4 [ogr_r=male] [obc_Fr=b_duze] [pr_obr=mala] (t:2, c:0.013699)
  [zm_kier_obc_os=tak]
5 [sr_walu=duza] [ug_walu=duze] (t:2, c:0.013699)
6 [sr_walu=sred] [ug_walu=male] (t:2, c:0.013699)
7 [sr_walu=duza] [ug_walu=sred] (t:2, c:0.013699)
8 [ug_walu=b_duze] (t:10, c:0.068493)

```

9	[ogr_r=b_male] [obc_Fr=duze] [ug_walu=?]	(t:2, c:0.013699)
10	[ug_walu=duze] [pr_obr=sred]	(t:2, c:0.013699)
11	[Fa/Fr=pr_18_35_os] [ug_walu=duze]	(t:1, c:0.006849)
12	[sr_walu=duza] [ogr_r=sred] [obc_Fr=duze]	(t:1, c:0.006849)
13	[sr_walu=duza] [ogr_r=male] [obc_Fr=duze]	(t:8, c:0.054795)
14	[sr_walu=duza] [ogr_r=b_duze] [obc_Fr=duze]	(t:1, c:0.006849)
15	[sr_walu=sred] [ogr_r=male] [obc_Fr=?]	(t:17, c:0.116438)
16	[ogr_r=sred] [ogr_a=male] [obc_Fr=duze]	(t:1, c:0.006849)
17	[ogr_r=duze] [ogr_a=duze] [obc_Fr=duze]	(t:5, c:0.034247)
18	[ogr_r=male] [ogr_a=sred] [obc_Fr=duze]	(t:8, c:0.054795)
19	[sr_walu=duza] [ogr_a=sred] [obc_Fr=duze]	(t:13, c:0.089041)
20	[sr_walu=sred] [ogr_a=male] [obc_Fr=sred]	(t:5, c:0.034247)
21	[sr_walu=sred] [ogr_a=duze] [obc_Fr=duze]	(t:4, c:0.027397)
22	[ogr_r=sred] [Fa/Fr=pr_18_35_os]	(t:2, c:0.013699)
23	[ogr_r=male] [Fa/Fr=pr_65_124_os]	(t:1, c:0.006849)
24	[sr_walu=duza] [ogr_r=duze] [ogr_a=sred]	(t:19, c:0.130137)
25	[sr_walu=sred] [ogr_r=male] [ogr_a=sred]	(t:21, c:0.143836)
26	[sr_walu=duza] [ogr_r=b_male]	(t:2, c:0.013699)
27	[sr_walu=mala] [ogr_a=b_male] [zm_kier_obc_os=tak]	(t:2, c:0.013699)
28	[ogr_a=sred] [obc_Fr=duze] [zm_kier_obc_os=tak]	(t:19, c:0.130137)
29	[ogr_r=b_male] [ogr_a=male] [obc_Fr=sred] [Fa/Fr=?]	(t:5, c:0.034247)
30	[sr_walu=mala] [ogr_r=b_male] [ogr_a=male] [pr_obr=duza]	(t:6, c:0.041096)
31	[sr_walu=mala] [ogr_r=b_male] [ogr_a=male] [pr_obr=sred]	(t:16, c:0.109589)
32	[sr_walu=sred] [ogr_r=male] [ogr_a=sred] [pr_obr=?]	(t:5, c:0.034247)
33	[obc_Fr=sred] [Fa/Fr=promien] [pr_obr=sred]	(t:6, c:0.041096)
34	[sr_walu=b_mala] [ogr_a=male] [pr_obr=?]	(t:2, c:0.013699)
35	[sr_walu=mala] [ogr_r=b_male] [pr_obr=mala]	(t:2, c:0.013699)
36	[sr_walu=duza] [ogr_r=male] [pr_obr=?]	(t:3, c:0.020548)
37	[sr_walu=duza] [ogr_r=sred] [pr_obr=?]	(t:3, c:0.020548)
38	[ogr_r=sred] [pr_obr=b_mala]	(t:6, c:0.041096)
39	[obc_Fr=?] [pr_obr=b_mala]	(t:4, c:0.027397)
40	[ogr_a=duze] [pr_obr=b_mala]	(t:3, c:0.020548)
41	[Fa/Fr=promien] [pr_obr=b_mala]	(t:14, c:0.095890)
42	[ogr_r=duze] [ogr_a=sred] [zm_kier_obc_os=tak]	(t:26, c:0.178082)
43	[ogr_r=sred] [ogr_a=sred] [zm_kier_obc_os=tak]	(t:18, c:0.123288)
44	[sr_walu=sred] [ogr_a=male] [pr_obr=?] [zm_kier_obc_os=tak]	(t:1, c:0.006849)
45	[ogr_r=male] [obc_Fr=?] [pr_obr=duza]	(t:6, c:0.041096)
bar_wzd-outhypo		
#	cpx	
1	[sr_walu=duza] [Fa/Fr=osiowy]	(t:2, c:0.100000)
2	[ogr_r=sred] [Fa/Fr=osiowy]	(t:3, c:0.150000)
3	[sr_walu=duza] [ogr_r=sred] [ogr_a=duze]	(t:2, c:0.100000)
4	[obc_Fr=duze] [Fa/Fr=pr_124_236_os]	(t:1, c:0.050000)
5	[ogr_r=male] [obc_Fr=duze] [zm_kier_obc_os=nie]	(t:2, c:0.100000)
6	[ogr_r=sred] [obc_Fr=duze] [zm_kier_obc_os=nie]	(t:1, c:0.050000)
7	[sr_walu=duza] [obc_Fr=b_duze] [pr_obr=sred]	(t:2, c:0.100000)
8	[sr_walu=sred] [ogr_r=b_male] [obc_Fr=?] [pr_obr=mala]	(t:1, c:0.050000)
9	[ogr_a=male] [Fa/Fr=osiowy]	(t:6, c:0.300000)
10	[ogr_a=male] [pr_obr=?] [zm_kier_obc_os=nie]	(t:8, c:0.400000)
igiel-outhypo		
#	cpx	
1	[ogr_r=sred] [ogr_a=sred] [obc_Fr=male]	(t:1, c:0.333333)
2	[ogr_r=duze] [ogr_a=b_male] [obc_Fr=male]	(t:1, c:0.333333)
3	[ogr_r=b_duze] [obc_Fr=sred]	(t:1, c:0.333333)
kul_sk-outhypo		
#	cpx	
1	[ogr_r=duze] [Fa/Fr=pr_65_124_os]	(t:1, c:0.076923)
2	[sr_walu=mala] [ogr_r=b_male] [ogr_a=sred] [pr_obr=duza]	(t:1, c:0.076923)
3	[obc_Fr=male] [pr_obr=mala]	(t:1, c:0.076923)

```

4 [sr_walu=b_mala] [ogr_a=sred] [pr_obr=?] (t:1, c:0.076923)
  [zm_kier_obc_os=nie]
5 [sr_walu=b_mala] [obc_Fr=b_male] (t:2, c:0.153846)
6 [sr_walu=mala] [obc_Fr=b_male] [zm_kier_obc_os=nie] (t:4, c:0.307692)
7 [sr_walu=mala] [Fa/Fr=pr_124_236_os] (t:2, c:0.153846)
  [zm_kier_obc_os=nie]
8 [ogr_r=b_male] [obc_Fr=male] [Fa/Fr=?] (t:2, c:0.153846)
9 [sr_walu=mala] [ogr_r=b_male] [pr_obr=sred] (t:2, c:0.153846)
  [zm_kier_obc_os=nie]
10 [sr_walu=mala] [pr_obr=?] [zm_kier_obc_os=nie] (t:1, c:0.076923)

kul_sk_2k-outhypo
# cpx
1 [ogr_r=b_male] [obc_Fr=?] [pr_obr=b_duza] (t:4, c:1.000000)

kul_sk_2r-outhypo
# cpx
1 [ogr_r=b_male] [ogr_a=b_male] [obc_Fr=male] (t:1, c:0.055556)
2 [sr_walu=duza] [ogr_r=b_duze] [ogr_a=b_duze] (t:7, c:0.388889)
3 [sr_walu=b_duza] [ogr_a=duze] [pr_obr=?] (t:7, c:0.388889)
4 [sr_walu=duza] [ogr_a=b_duze] [pr_obr=sred] (t:5, c:0.277778)
5 [ogr_a=b_male] [Fa/Fr=pr_18_35_os] (t:3, c:0.166667)

kul_wah-outhypo
# cpx
1 [sr_walu=mala] [ogr_r=b_male] [ogr_a=male] (t:4, c:0.444444)
  [pr_obr=duza]
2 [sr_walu=b_mala] [ogr_a=sred] [pr_obr=?] (t:1, c:0.111111)
  [zm_kier_obc_os=tak]
3 [sr_walu=mala] [ogr_a=sred] [obc_Fr=?] [pr_obr=sred] (t:4, c:0.444444)

kul_wzd-outhypo
# cpx
1 [ogr_r=b_duze] [Fa/Fr=osiowy] (t:1, c:0.142857)
2 [ogr_r=duze] [Fa/Fr=osiowy] (t:2, c:0.285714)
3 [sr_walu=mala] [ogr_r=sred] [ogr_a=male] (t:1, c:0.142857)
4 [sr_walu=mala] [ogr_r=male] [ogr_a=male] [pr_obr=sred] (t:1, c:0.142857)
5 [sr_walu=sred] [ogr_a=b_duze] [pr_obr=duza] (t:2, c:0.285714)
6 [sr_walu=b_mala] [ogr_a=b_male] [pr_obr=?] (t:1, c:0.142857)

kul_zw-outhypo
# cpx
1 [sr_walu=b_mala] [Fa/Fr=pr_65_124_os] (t:5, c:0.104167)
2 [sr_walu=b_mala] [Fa/Fr=pr_124_236_os] (t:2, c:0.041667)
3 [sr_walu=duza] [ogr_r=b_duze] [ogr_a=b_duze] (t:7, c:0.145833)
4 [sr_walu=b_duza] [ogr_r=duze] [ogr_a=b_duze] (t:7, c:0.145833)
5 [ogr_a=male] [obc_Fr=male] [zm_kier_obc_os=tak] (t:5, c:0.104167)
6 [sr_walu=b_mala] [ogr_a=male] [pr_obr=?] (t:1, c:0.020833)
7 [sr_walu=duza] [ogr_a=b_duze] [pr_obr=sred] (t:5, c:0.104167)
8 [sr_walu=b_duza] [ogr_a=b_duze] [pr_obr=sred] (t:5, c:0.104167)
9 [sr_walu=sred] [ogr_a=b_duze] [pr_obr=mala] (t:2, c:0.041667)
10 [sr_walu=sred] [ogr_a=b_duze] [pr_obr=?] (t:1, c:0.020833)
11 [sr_walu=mala] [ogr_r=sred] [pr_obr=?] (t:1, c:0.020833)
12 [sr_walu=mala] [ogr_r=male] [pr_obr=?] (t:4, c:0.083333)
13 [ogr_r=b_duze] [obc_Fr=male] (t:1, c:0.020833)
14 [sr_walu=mala] [pr_obr=?] [zm_kier_obc_os=tak] (t:7, c:0.145833)
15 [obc_Fr=male] [ug_walu=duze] (t:1, c:0.020833)
16 [ogr_a=duze] [obc_Fr=male] (t:1, c:0.020833)
17 [ogr_a=b_duze] [obc_Fr=duze] (t:1, c:0.020833)
18 [sr_walu=mala] [ogr_a=duze] (t:4, c:0.083333)
19 [Fa/Fr=pr_35_65_os] [ug_walu=?] [zm_kier_obc_os=tak] (t:1, c:0.020833)
20 [Fa/Fr=osiowy] [zm_kier_obc_os=tak] (t:2, c:0.041667)
21 [Fa/Fr=pr_124_236_os] [zm_kier_obc_os=tak] (t:3, c:0.062500)
22 [ogr_a=b_duze] [ug_walu=sred] (t:2, c:0.041667)
23 [sr_walu=mala] [ogr_r=male] [ogr_a=sred] [obc_Fr=sred] (t:1, c:0.020833)
24 [sr_walu=b_mala] [Fa/Fr=?] [pr_obr=sred] (t:1, c:0.020833)
25 [sr_walu=sred] [ogr_r=b_male] [obc_Fr=?] [pr_obr=sred] (t:1, c:0.020833)

```

```

    [zm_kier_obc_os=tak]
26 [ogr_r=sred] [pr_obr=mala] [zm_kier_obc_os=tak] (t:2, c:0.041667)
27 [ogr_r=sred] [ogr_a=male] [pr_obr=sred] (t:1, c:0.020833)
    [zm_kier_obc_os=tak]

stozk-outhypo
# cpx
1 [sr_walu=duza] [Fa/Fr=pr_124_236_os] (t:1, c:0.028571)
2 [sr_walu=mala] [ug_walu=male] (t:4, c:0.114286)
3 [sr_walu=b_mala] [ug_walu=male] (t:4, c:0.114286)
4 [Fa/Fr=pr_65_124_os] [ug_walu=sred] (t:1, c:0.028571)
5 [Fa/Fr=pr_18_35_os] [ug_walu=sred] (t:1, c:0.028571)
6 [sr_walu=sred] [ogr_r=sred] [ogr_a=duze] (t:6, c:0.171429)
7 [sr_walu=sred] [ogr_r=sred] [pr_obr=?] (t:4, c:0.114286)
8 [Fa/Fr=pr_18_35_os] [pr_obr=b_mala] (t:1, c:0.028571)
9 [Fa/Fr=pr_35_65_os] [pr_obr=sred] (t:2, c:0.057143)
10 [obc_Fr=sred] [Fa/Fr=pr_124_236_os] (t:2, c:0.057143)
11 [obc_Fr=male] [Fa/Fr=pr_35_65_os] (t:4, c:0.114286)
12 [obc_Fr=male] [Fa/Fr=pr_18_35_os] (t:2, c:0.057143)
13 [Fa/Fr=pr_18_35_os] [zm_kier_obc_os=nie] (t:6, c:0.171429)
14 [ogr_a=b_male] [obc_Fr=?] [pr_obr=duza] (t:8, c:0.228571)

stozk_2r-outhypo
# cpx
1 [sr_walu=b_duza] [Fa/Fr=pr_35_65_os] (t:2, c:0.200000)
2 [obc_Fr=b_duze] [ug_walu=sred] (t:2, c:0.200000)
3 [sr_walu=b_duza] [ogr_a=male] (t:5, c:0.500000)
4 [ogr_a=duze] [ug_walu=b_male] (t:4, c:0.400000)
5 [ogr_r=duze] [ogr_a=male] [obc_Fr=duze] [pr_obr=mala] (t:1, c:0.100000)
6 [ogr_r=duze] [ug_walu=male] (t:2, c:0.200000)

wal_2r-outhypo
# cpx
1 [ogr_a=sred] [zm_kier_obc_os=?] (t:16, c:0.500000)
2 [obc_Fr=duze] [zm_kier_obc_os=?] (t:6, c:0.187500)
3 [sr_walu=mala] [zm_kier_obc_os=?] (t:5, c:0.156250)
4 [sr_walu=sred] [zm_kier_obc_os=?] (t:14, c:0.437500)

wal_4r-outhypo
# cpx
1 [sr_walu=duza] [ogr_r=b_duze] [ogr_a=male] (t:1, c:0.125000)
2 [sr_walu=b_duza] [ogr_a=b_male] (t:7, c:0.875000)

wal_bo-outhypo
# cpx
1 [ogr_r=sred] [ogr_a=male] [obc_Fr=male] (t:3, c:0.120000)
2 [ogr_r=duze] [ogr_a=male] [obc_Fr=male] (t:3, c:0.120000)
3 [sr_walu=b_mala] [ogr_r=duze] [ogr_a=male] (t:4, c:0.160000)
4 [ogr_a=male] [obc_Fr=b_duze] [zm_kier_obc_os=nie] (t:1, c:0.040000)
5 [sr_walu=duza] [ogr_a=b_duze] [pr_obr=duza] (t:1, c:0.040000)
6 [sr_walu=sred] [ogr_a=duze] [pr_obr=b_duza] (t:1, c:0.040000)
7 [ogr_r=sred] [pr_obr=b_duza] (t:4, c:0.160000)
8 [ogr_r=male] [obc_Fr=?] [pr_obr=b_duza] (t:4, c:0.160000)
9 [sr_walu=mala] [ogr_r=male] [obc_Fr=sred] (t:1, c:0.040000)
    [pr_obr=mala]
10 [ogr_a=b_duze] [ug_walu=b_male] (t:2, c:0.080000)
11 [ogr_r=b_duze] [ug_walu=male] (t:2, c:0.080000)
12 [ug_walu=duze] [zm_kier_obc_os=nie] (t:5, c:0.200000)

wal_zp-outhypo
# cpx
1 [sr_walu=sred] [Fa/Fr=pr_10_18_os] (t:4, c:0.444444)
2 [ogr_r=male] [obc_Fr=b_duze] [pr_obr=mala] (t:1, c:0.111111)
    [zm_kier_obc_os=tak]
3 [sr_walu=duza] [ogr_a=b_duze] [pr_obr=?] (t:2, c:0.222222)
4 [sr_walu=sred] [ogr_r=male] [obc_Fr=duze] (t:1, c:0.111111)
    [pr_obr=duza] [zm_kier_obc_os=tak]

```

Liczba przykładów = 387.

- // - błędnie sklasyfikowanych = 76.

>>> Łączny błąd względny = 0.196 (19.64 %).

>>> Względny błąd pominięcia = 0.270 (27.00 %).

>>> Względny błąd niesłusznego zaliczenia = 0.013 (1.25 %).

*** Klasyfikacja przykładów do poszczególnych klas:

(0)	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	<- sklasyfikowany jako
142	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	(0) kl: bar_2r <146> - 2 prz. nieskl.
1	16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	(1) kl: bar_wzd <20> - 2 prz. nieskl.
-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	2	-	(2) kl: igiel <3>
1	1	-	6	-	-	1	-	3	-	-	-	-	-	-	(3) kl: kul_sk <13> - 1 prz. nieskl.
-	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	(4) kl: kul_sk_2k <4>
-	-	-	-	-	10	-	-	8	-	-	-	-	-	-	(5) kl: kul_sk_2r <18>
4	-	-	1	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	(6) kl: kul_wah <9>
-	-	-	-	-	-	-	3	2	1	-	-	-	-	-	(7) kl: kul_wzd <7> - 1 prz. nieskl.
2	1	-	4	-	7	-	-	27	1	-	-	-	-	1	(8) kl: kul_zw <48> - 5 prz. nieskl.
2	1	-	-	-	1	-	-	-	30	-	-	-	-	-	(9) kl: stozk <35> - 1 prz. nieskl.
1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7	-	-	-	-	(10) kl: stozk_2r <10> - 2 prz. nieskl.
1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	31	-	-	-	(11) kl: wal_2r <32>
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	7	-	-	(12) kl: wal_4r <8>
2	-	-	-	-	-	-	1	1	-	-	-	-	18	-	(13) kl: wal_bo <25> - 3 prz. nieskl.
2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6	(14) kl: wal_zp <9> - 1 prz. nieskl.

/|\ |
| |
| <--- Błąd pominięcia | | /---> Błąd niesłusznego zaliczenia

ZAŁĄCZNIK C

Dobór sposobu ustalenia łożyska w kierunku osiowym

C.1 Opis dziedziny zastosowania

C.1.1 Rozwiązania projektowe

Identyfikator rozwiązania	Nazwa rozwiązania projektowego
ustal/ustal	łożysko ustalone na wale i w oprawie
ustal/swob	łożysko ustalone na wale i nieustalone w oprawie
swob/ustal	łożysko nieustalone na wale i ustalone w oprawie

C.1.2 Atrybuty

Identyfikator atrybutu	Nazwa atrybutu
obc_Fa	obciążenie osiowe
rola_loz	rola łożyska
lozysko	rodzaj łożyska
wir_obc	wirowanie obciążenia względem pierścienia

C.1.3 Wartości cech

1) obc_Fa [N]

Progi kwantowania wartości cechy		Identyfikatory wartości cechy
ponad	do	
-	3952,905	b_male
3952,905	17361,621	male
17361,621	76254,270	sred
76254,270	334917,661	duze
334917,661	-	b_duze

2) rola_loz - przyjmuje wartości:

- a) swob (swobodne)
- b) ustal (ustalające)

3) lozysko - przyjmuje wartości:

- a) bar_2r (baryłkowe 2-rzędowe)
- b) bar_2r+bar_wzd (baryłkowe 2-rzędowe + baryłkowe wzdłużne)
- c) bar_2r+kul_wzd (baryłkowe 2-rzędowe + kulkowe wzdłużne)

d) bar_wzd	(baryłkowe wzdłużne)
e) bar_wzd+bar_wzd	(baryłkowe wzdłużne + baryłkowe wzdłużne)
f) igiel	(igielkowe)
g) kul_sk	(kulkowe skośne)
h) kul_sk+kul_sk	(kulkowe skośne + kulkowe skośne)
i) kul_wah	(kulkowe wahlliwe)
j) kul_wah+kul_wzd	(kulkowe wahlliwe + kulkowe wzdłużne)
k) kul_zw	(kulkowe zwykłe)
l) kul_zw+wah_bo	(kulkowe zwykłe + walcowe bez obrzeży)
m) stozk	(stożkowe)
n) stozk+stozk	(stożkowe + stożkowe)
o) stozk+kul_wzd	(stożkowe + kulkowe wzdłużne)
p) stozk_2r	(stożkowe 2-rzędowe)
q) stozk_4r	(stożkowe 4-rzędowe)
r) wal_2r	(walcowe 2-rzędowe)
s) wal_2r+kul_wzd	(walcowe 2-rzędowe + kulkowe wzdłużne)
t) wal_2r+kul_sk_2k	(walcowe 2-rzędowe + kulkowe skośne 2-kierunkowe)
u) wal_2r+kul_sk_wzd	(walcowe 2-rzędowe + kulkowe skośne wzdłużne)
v) wal_2r+kul_zw	(walcowe 2-rzędowe + kulkowe zwykłe)
w) wal_4r	(walcowe 4-rzędowe)
x) wal_4r+kul_sk_2r	(walcowe 4-rzędowe + kulkowe skośne 2-rzędowe)
y) wal_4r+kul_zw	(walcowe 2-rzędowe + kulkowe zwykłe)
z) wal_bo	(walcowe bez obrzeży)
aa) wal_bo+kul_sk_2k	(walcowe bez obrzeży + kulkowe skośne 2-kierunkowe)
bb) wal_bo+kul_sk_2r	(walcowe bez obrzeży + kulkowe skośne 2-rzędowe)
cc) wal_bo+kul_zw	(walcowe bez obrzeży + kulkowe zwykłe)
dd) wal_zp	(walcowe z pierścieniami - obrzeżami)
ee) kul_sk_2r	(kulkowe skośne 2-rzędowe)

4) wir_obc - przyjmuje wartości:

a) pier_wewn	(wirowanie obciążenia względem pierścienia wewnętrznego)
b) pier_zewn	(wirowanie obciążenia względem pierścienia zewnętrznego)
c) p_wewn+zewn	(wirowanie obciążenia względem obu pierścieni)

C.2 Zbiór przykładów uczących

```

title
# text
1 "Plik zawiera 374 przyklady - 3 rozwiazania projektowe."

parameters
run mode ambig trim wts maxstar echo verbose
1 ic pos mini cpx 10 p 1

domaintypes
type size name
lin 5 obc_Fa
nom 4 rola_loz
nom 31 lozysko
nom 3 wir_obc

```

```

variables
  type size name
  lin   5  obc_Fa
  nom   4  rola_loz
  nom  31  lozysko
  nom   3  wir_obc

```

```

obc_Fa-names
  value  name
  0      b_male
  1      male
  2      sred
  3      duze
  4      b_duze

```

```

rola_loz-names
  value  name
  0      swob
  1      uklad_0
  2      uklad_X
  3      ustal

```

```

lozysko-names
  value  name
  0      bar_2r
  1      bar_2r+bar_wzd
  2      bar_2r+kul_wzd
  3      bar_wzd
  4      bar_wzd+bar_wzd
  5      igiel
  6      kul_sk
  7      kul_sk+kul_sk
  8      kul_wah
  9      kul_wah+kul_wzd
  10     kul_zw
  11     kul_zw+wah_bo
  12     stozk
  13     stozk+stozk
  14     stozk+kul_wzd
  15     stozk_2r
  16     stozk_4r
  17     wal_2r
  18     wal_2r+kul_wzd
  19     wal_2r+kul_sk_2k
  20     wal_2r+kul_sk_wzd
  21     wal_2r+kul_zw
  22     wal_4r
  23     wal_4r+kul_sk_2r
  24     wal_4r+kul_zw
  25     wal_bo
  26     wal_bo+kul_sk_2k
  27     wal_bo+kul_sk_2r
  28     wal_bo+kul_zw
  29     wal_zp
  30     kul_sk_2r

```

```

wir_obc-names
  value  name
  0      pier_wewn
  1      pier_zewn
  2      p_wewn+zewn

```

ustal/ustal-events

```

obc_Fa  rola_loz  lozysko          wir_obc
?       ustal    kul_zw            pier_wewn
?       swob     igiel            pier_wewn

```

b_male	swob	wal_bo	pier_wewn
b_male	ustal	wal_zp	pier_wewn
?	ustal	kul_zw	pier_zewn
?	ustal	kul_zw	pier_wewn
?	ustal	kul_sk_2r	pier_wewn
?	ustal	kul_zw	pier_wewn
b_male	ustal	kul_zw	pier_zewn
?	ustal	kul_zw	pier_wewn
?	ustal	kul_zw	pier_wewn
?	ustal	kul_zw	pier_wewn
?	ustal	bar_2r	pier_wewn
?	ustal	bar_2r	pier_wewn
?	ustal	bar_2r	pier_wewn
?	ustal	bar_2r	pier_wewn
?	ustal	kul_sk_2r	pier_wewn
?	swob	wal_bo	pier_wewn
?	swob	wal_bo	pier_wewn
?	ustal	kul_zw	pier_wewn
?	ustal	wal_zp	pier_wewn
b_male	swob	wal_bo	pier_wewn
b_male	swob	wal_bo	pier_wewn
b_male	swob	wal_bo	pier_zewn
b_male	swob	wal_bo	pier_zewn
?	swob	wal_bo	pier_wewn
b_male	swob	wal_bo	pier_wewn
sred	ustal	kul_sk	pier_wewn
sred	ustal	kul_sk	pier_wewn
?	swob	wal_bo	pier_wewn
sred	ustal	wal_zp	pier_zewn
b_male	swob	wal_bo	pier_zewn
b_male	ustal	kul_zw	pier_wewn
b_male	ustal	igiel	pier_wewn
?	swob	wal_bo	pier_wewn
?	ustal	kul_zw	pier_wewn
b_male	ustal	bar_2r	pier_wewn
?	ustal	bar_2r	pier_wewn
?	ustal	kul_zw	pier_zewn
?	ustal	kul_zw	pier_zewn
?	ustal	bar_2r	pier_wewn
?	ustal	bar_2r	pier_zewn
?	ustal	kul_wah	pier_wewn
?	ustal	wal_bo+kul_zw	pier_wewn
?	swob	wal_bo	pier_wewn
b_male	ustal	bar_2r	pier_wewn
b_male	ustal	bar_2r	pier_wewn
b_male	ustal	bar_2r	pier_wewn
b_male	ustal	bar_2r	pier_wewn
b_male	ustal	bar_2r	pier_wewn
b_male	ustal	bar_2r	pier_wewn
sred	ustal	bar_2r	pier_wewn
b_male	ustal	bar_2r	pier_wewn
?	ustal	bar_2r	pier_wewn
b_male	ustal	bar_2r	pier_wewn
b_male	ustal	bar_2r	pier_wewn
?	ustal	bar_2r	pier_wewn
b_male	ustal	kul_wah	pier_wewn
?	ustal	bar_2r	pier_wewn
?	swob	wal_bo	pier_zewn
sred	ustal	bar_2r	pier_wewn
sred	ustal	bar_2r	pier_zewn
b_male	ustal	bar_2r	pier_wewn
?	swob	wal_bo	pier_wewn
b_male	swob	bar_2r	pier_wewn
?	ustal	bar_2r	pier_wewn
?	ustal	bar_2r	pier_wewn
?	ustal	bar_2r	pier_wewn
?	swob	wal_bo	pier_wewn

?	swob	wal_2r	pier_wewn
?	ustal	kul_zw	pier_wewn
?	ustal	wal_zp	pier_wewn
?	ustal	kul_zw	pier_wewn
?	swob	wal_bo	pier_wewn
?	ustal	kul_zw	pier_wewn
?	ustal	kul_zw	pier_wewn
b_male	ustal	stozk_2r	pier_zewn
?	ustal	kul_sk	pier_wewn
?	ustal	bar_2r	pier_wewn
?	ustal	kul_zw	pier_wewn
?	ustal	bar_2r	pier_zewn
b_male	ustal	bar_2r	pier_zewn
b_male	ustal	bar_2r	pier_zewn
?	ustal	bar_2r	pier_wewn
?	ustal	bar_2r	pier_wewn
?	ustal	wal_2r+kul_zw	pier_wewn
?	swob	wal_2r	pier_wewn
?	ustal	bar_2r	pier_wewn
?	ustal	bar_2r	pier_wewn
?	ustal	bar_2r	pier_zewn
?	ustal	bar_2r	pier_zewn
?	ustal	kul_zw	pier_wewn
?	ustal	wal_zp	pier_wewn
?	ustal	kul_zw	pier_wewn
?	ustal	wal_2r+kul_wzd	pier_wewn
?	swob	wal_2r	pier_wewn
?	ustal	wal_2r+kul_sk_wzd	pier_wewn
?	swob	wal_2r	pier_wewn
?	uklad_0	stozk	pier_wewn
?	swob	wal_2r	pier_wewn
?	ustal	wal_2r+kul_sk_wzd	pier_wewn
?	uklad_0	kul_sk	pier_wewn
b_male	ustal	wal_zp	pier_zewn
?	ustal	wal_zp	pier_zewn
?	ustal	kul_wah	pier_wewn
?	ustal	kul_zw	pier_wewn
?	ustal	kul_zw	pier_wewn
?	ustal	stozk+stozk	pier_wewn
?	uklad_X	kul_sk	pier_wewn
?	ustal	kul_zw	pier_wewn
?	ustal	kul_zw	pier_wewn
?	ustal	kul_zw	pier_wewn
?	ustal	wal_zp	pier_wewn
?	ustal	wal_zp	pier_wewn
?	swob	wal_bo	pier_wewn
?	swob	wal_bo	pier_wewn
?	swob	wal_bo	pier_wewn
?	swob	wal_bo	pier_wewn
?	swob	wal_bo	pier_wewn
?	ustal	kul_zw	pier_wewn
?	ustal	kul_zw	pier_wewn
b_male	ustal	bar_2r	pier_wewn
b_male	swob	wal_2r	pier_wewn
?	ustal	bar_2r	pier_wewn
b_male	ustal	bar_2r	pier_wewn
b_male	swob	bar_2r	pier_wewn
b_male	ustal	bar_2r	pier_wewn
duze	ustal	bar_2r	pier_wewn
b_duze	ustal	bar_2r	pier_wewn
b_male	ustal	bar_2r	pier_zewn
b_male	ustal	bar_2r	pier_zewn

b_male	ustal	bar_2r	pier_zewn
b_male	ustal	bar_2r	pier_zewn
b_male	swob	wal_2r	pier_wewn
male	ustal	bar_2r	pier_wewn
b_male	swob	wal_bo	pier_wewn
b_male	ustal	wal_zp	pier_wewn
?	ustal	wal_bo+kul_sk_2r	pier_wewn
b_male	ustal	stozk_4r	pier_wewn
b_male	ustal	stozk_4r	pier_wewn
?	ustal	wal_2r+kul_sk_2k	pier_wewn
?	ustal	wal_2r+kul_sk_2k	pier_wewn
?	swob	wal_2r	pier_wewn
?	ustal	wal_2r+kul_sk_2k	pier_wewn
?	ustal	wal_2r+kul_sk_2k	pier_wewn
?	swob	wal_bo	pier_wewn
?	ustal	kul_sk+kul_sk	pier_wewn
male	ustal	kul_sk+kul_sk	pier_wewn
?	ustal	kul_sk+kul_sk	pier_wewn
?	swob	wal_bo	pier_wewn
?	ustal	bar_2r	pier_wewn
male	ustal	kul_sk+kul_sk	pier_wewn
sred	ustal	kul_sk_2r	pier_wewn
b_male	swob	wal_bo	pier_wewn
b_duze	ustal	bar_2r	pier_wewn
duze	uklad_0	stozk	pier_zewn
duze	uklad_0	stozk	pier_zewn
b_male	ustal	bar_2r	pier_zewn
sred	uklad_X	stozk	pier_wewn
sred	uklad_0	stozk	pier_wewn
b_male	swob	wal_2r	pier_wewn
b_duze	ustal	stozk_2r	pier_wewn
b_male	swob	wal_2r	pier_wewn
duze	ustal	stozk_2r	pier_wewn
b_male	swob	wal_bo	pier_wewn
duze	ustal	stozk_2r	pier_wewn
b_male	swob	wal_2r	pier_wewn
b_male	ustal	stozk_2r	pier_wewn
b_male	swob	wal_bo	pier_wewn
duze	ustal	stozk_2r	pier_wewn
sred	ustal	stozk_2r	pier_wewn
b_duze	ustal	stozk_2r	pier_wewn
b_male	ustal	wal_4r+kul_sk_2r	pier_wewn
b_male	ustal	wal_4r+kul_zw	pier_wewn
b_male	swob	wal_bo	pier_wewn
male	ustal	kul_zw	pier_wewn
?	swob	wal_bo	pier_wewn
?	ustal	wal_bo+kul_sk_2k	pier_wewn
b_male	ustal	bar_2r	pier_wewn
b_male	swob	wal_2r	pier_wewn
b_male	swob	wal_bo	pier_wewn
b_male	ustal	wal_zp	pier_wewn
?	ustal	wal_zp	pier_wewn
?	ustal	bar_2r	pier_wewn
?	ustal	stozk_2r	pier_wewn
b_male	uklad_0	stozk	pier_zewn
b_male	uklad_0	stozk	pier_zewn
male	uklad_0	stozk	pier_zewn
male	uklad_0	stozk	pier_zewn
?	ustal	bar_2r	pier_wewn
?	ustal	bar_2r+bar_wzd	pier_wewn
?	ustal	bar_wzd+bar_wzd	pier_wewn
duze	ustal	bar_2r+bar_wzd	pier_wewn
duze	ustal	bar_2r+bar_wzd	pier_wewn
?	ustal	stozk+stozk	pier_wewn
?	swob	wal_2r	pier_wewn
?	ustal	wal_2r+kul_wzd	pier_wewn
?	swob	wal_2r	pier_wewn

b_male	swob	wal_bo	pier_wewn
male	uklad_0	kul_sk+kul_sk	pier_wewn
male	ustal	wal_2r+kul_wzd	pier_wewn
b_male	ustal	kul_zw	pier_wewn
b_male	uklad_0	kul_sk	pier_wewn
b_duze	ustal	bar_2r+bar_wzd	pier_wewn
?	ustal	bar_2r	pier_wewn
b_duze	ustal	bar_2r+bar_wzd	pier_wewn
?	swob	igiel	pier_wewn
?	ustal	kul_zw	pier_wewn
?	ustal	kul_wah+kul_wzd	pier_wewn
duze	ustal	bar_2r+bar_wzd	pier_wewn
?	swob	bar_2r	pier_wewn
?	swob	bar_2r	pier_wewn
male	ustal	bar_2r	pier_wewn
?	ustal	bar_2r	pier_wewn
?	ustal	bar_2r	pier_wewn
?	ustal	bar_2r	pier_wewn
?	ustal	bar_2r	pier_wewn
?	ustal	bar_2r	pier_wewn
b_male	ustal	wal_2r+kul_zw	pier_wewn
?	ustal	bar_2r	pier_wewn
?	ustal	wal_zp	pier_zewn
?	ustal	wal_zp	pier_zewn
?	ustal	wal_2r+kul_zw	pier_wewn
?	ustal	bar_2r+bar_wzd	pier_wewn
?	ustal	bar_2r	pier_wewn
?	swob	wal_2r	pier_wewn
?	ustal	kul_wah	pier_wewn
?	ustal	kul_wah	pier_wewn
?	ustal	kul_wah	pier_wewn
?	ustal	kul_wah	pier_wewn
ustal/swob-events			
obc_Fa	rola_loz	lozysko	wir_obc
?	swob	wal_bo	p_wewn+zewn
?	swob	wal_zp	pier_wewn
b_male	swob	kul_zw	pier_wewn
b_male	swob	bar_2r	pier_wewn
?	swob	bar_2r	pier_wewn
?	swob	kul_zw	pier_wewn
male	ustal	bar_2r	pier_wewn
male	ustal	bar_2r	pier_wewn
?	swob	bar_2r	pier_wewn
b_male	swob	bar_2r	pier_wewn
?	swob	bar_2r	pier_wewn
?	swob	bar_2r	pier_wewn
?	swob	bar_2r	pier_wewn
?	swob	bar_2r	pier_wewn
?	swob	bar_2r	pier_wewn
?	swob	bar_2r	pier_wewn
?	swob	bar_2r	pier_wewn
b_male	swob	bar_2r	pier_wewn
?	swob	kul_wah	pier_wewn
b_male	swob	bar_2r	pier_wewn
b_male	swob	bar_2r	pier_wewn
b_male	swob	bar_2r	pier_wewn
b_male	swob	bar_2r	pier_wewn
b_male	swob	bar_2r	pier_wewn
b_male	swob	bar_2r	pier_wewn
b_male	swob	bar_2r	pier_wewn
b_male	swob	bar_2r	pier_wewn
b_male	swob	bar_2r	pier_wewn
?	swob	bar_2r	pier_wewn
?	swob	bar_2r	pier_zewn
?	swob	bar_2r	pier_zewn
?	swob	bar_2r	pier_wewn
b_male	swob	bar_2r	pier_wewn
b_male	swob	bar_2r	pier_wewn
?	swob	bar_2r	pier_wewn

b_male	swob	kul_wah	pier_wewn
?	swob	bar_2r	pier_wewn
?	swob	bar_2r	pier_wewn
sred	swob	bar_2r	pier_wewn
b_male	swob	bar_2r	pier_wewn
?	swob	bar_2r	pier_wewn
b_duze	ustal	bar_2r	pier_wewn
?	swob	bar_2r	pier_wewn
?	swob	bar_2r	pier_wewn
?	ustal	stozk+kul_wzd	pier_wewn
?	uklad_0	kul_sk	pier_wewn
?	swob	kul_wah	pier_wewn
?	swob	kul_zw	pier_wewn
?	swob	kul_zw	pier_wewn
?	swob	wal_zp	pier_wewn
?	swob	wal_zp	p_wewn+zewn
?	uklad_0	stozk	pier_wewn
?	uklad_0	stozk	pier_wewn
?	uklad_0	stozk	pier_zewn
?	uklad_0	stozk	pier_wewn
?	uklad_0	stozk	pier_zewn
?	swob	bar_2r	pier_wewn
?	swob	kul_zw	pier_wewn
?	swob	kul_zw	pier_wewn
?	swob	kul_zw	pier_wewn
?	swob	kul_zw	pier_wewn
?	swob	bar_2r	pier_wewn
male	uklad_0	stozk	pier_zewn
b_male	uklad_0	stozk	pier_zewn
?	uklad_0	stozk	pier_wewn
?	uklad_0	stozk	pier_wewn
?	swob	kul_wah	pier_wewn
?	swob	bar_2r	pier_wewn
b_duze	ustal	bar_2r	pier_wewn
?	swob	bar_2r	pier_wewn
?	swob	bar_2r	pier_wewn
?	swob	bar_2r	pier_wewn
b_male	swob	bar_2r	pier_wewn
b_male	swob	wal_zp	pier_wewn
male	swob	bar_2r	pier_wewn
male	uklad_0	stozk	pier_wewn
male	uklad_0	stozk	pier_wewn
b_male	uklad_0	stozk	pier_wewn
b_male	uklad_0	stozk	pier_wewn
?	swob	bar_2r	pier_wewn
b_male	uklad_0	kul_sk	pier_wewn
b_male	swob	kul_zw	pier_wewn
b_male	uklad_0	kul_sk	pier_wewn
?	ustal	bar_2r+kul_wzd	pier_wewn
?	swob	bar_2r	pier_wewn
duze	ustal	bar_2r+kul_wzd	pier_wewn
male	ustal	bar_2r+kul_wzd	pier_wewn
?	swob	kul_sk	pier_wewn
?	swob	kul_sk	pier_wewn
?	swob	kul_sk	pier_wewn
?	ustal	bar_2r	pier_zewn
?	ustal	bar_2r	pier_zewn
?	ustal	bar_2r	pier_zewn
?	ustal	bar_2r	pier_zewn
?	swob	bar_2r	pier_wewn
?	swob	bar_2r	pier_wewn
?	swob	bar_2r	pier_wewn
?	swob	bar_2r	pier_wewn
?	swob	bar_2r	pier_wewn
?	swob	bar_2r	pier_wewn
?	swob	bar_2r	pier_wewn
?	swob	bar_2r	pier_wewn
?	swob	bar_2r	pier_wewn


```

?      swob      bar_2r      pier_wewn
?      swob      bar_2r      p_wewn+zewn
?      swob      bar_2r      p_wewn+zewn
?      swob      bar_2r      pier_wewn
?      swob      bar_2r      pier_wewn
?      swob      bar_2r      pier_wewn
?      ustal    bar_2r+kul_wzd  pier_wewn
?      swob      kul_wah     pier_wewn
?      swob      kul_wah     pier_wewn
?      swob      kul_wah     pier_wewn
?      swob      kul_wah     pier_wewn

```

swob/ustal-events

```

obc_Fa  rola_loz  lozysko     wir_obc
?      swob      kul_zw      pier_zewn
?      swob      igiel      p_wewn+zewn
?      swob      wal_bo     p_wewn+zewn
b_male  swob      kul_zw      pier_wewn
b_male  swob      kul_zw      pier_zewn
?      ukklad_X  stozk      pier_wewn
?      swob      wal_zp     pier_wewn
?      ukklad_X  stozk      pier_wewn
?      ukklad_X  stozk      pier_wewn
?      ukklad_X  stozk      pier_wewn
b_male  swob      kul_zw      pier_zewn
?      swob      bar_2r     pier_zewn
?      swob      bar_2r     pier_zewn
b_male  swob      bar_2r     pier_zewn
b_male  swob      bar_2r     pier_zewn
b_male  swob      bar_2r     pier_zewn
b_male  swob      bar_2r     pier_zewn
b_male  swob      bar_2r     pier_zewn
?      swob      bar_2r     pier_zewn
sred    ustal    bar_2r     pier_zewn
sred    ustal    bar_2r     pier_zewn
sred    swob      bar_2r     pier_zewn
b_male  swob      kul_zw     pier_zewn
b_male  swob      bar_2r     pier_zewn
sred    ukklad_0  stozk      pier_wewn
?      swob      wal_4r     pier_wewn
?      swob      wal_2r     pier_wewn
?      ukklad_X  bar_2r     pier_wewn
?      ukklad_X  stozk      pier_wewn

```

C.3 Zbiory reguł

C.3.1 Reguły pozyskane programem AQ15c oraz wyniki klasyfikacji techniką

„leave-one-out”

```

parameters
run   mode   ambig   trim   wts   maxstar  echo   criteria  verbose
1    ic     pos     mini  cpx   10      p     default   1

ustal/ustal-outhypo
#    cpx
1   [rola_loz=uklad_0,ustal] [lozysko=bar_2r,bar_2r+
    bar_wzd,bar_wzd+bar_wzd,igiel,kul_sk, kul_sk+kul_sk,
    kul_wah,kul_wah+kul_wzd,kul_zw,kul_zw+wal_bo, stozk+
    stozk, stozk_2r, stozk_4r, wal_2r+kul_wzd, wal_2r+
    kul_sk_2k, wal_2r+kul_sk_wzd, wal_2r+kul_zw, wal_4r+
    kul_sk_2r, wal_4r+kul_zw, wal_bo+kul_sk_2k, wal_bo+
    kul_sk_2r, wal_bo+kul_zw, wal_zp, kul_sk_2r]

```

```

2 [rola_loz=swob,uklad_0] [lozysko=bar_2r,igiel,stożk, (t:52, u:50)
  wal_2r,wal_bo] [wir_obc=pier_wewn]
3 [lozysko=stożk] (t:9, u:7)
4 [lozysko=wal_bo] [wir_obc=pier_zewn] (t:4, u:4)
5 [rola_loz=uklad_X] [lozysko=kul_sk] (t:1, u:1)

```

ustal/swob-outhypo

```

# cpx
1 [rola_loz=swob,uklad_0] [lozysko=bar_2r,kul_sk, (t:81, u:81)
  kul_wah,kul_zw,wal_zp] [wir_obc=pier_wewn,p_wewn+zewn]
2 [lozysko=bar_2r,stożk] [wir_obc=pier_zewn] (t:10, u:9)
3 [obc_Fa=male] [rola_loz=uklad_0,ustal] (t:6, u:4)
  [lozysko=bar_2r,bar_2r+kul_wzd,stożk]
4 [lozysko=bar_2r+kul_wzd,stożk+kul_wzd] (t:5, u:4)
5 [obc_Fa=b_duze] [rola_loz=ustal] [lozysko=bar_2r] (t:2, u:2)
6 [lozysko=wal_bo] [wir_obc=p_wewn+zewn] (t:1, u:1)

```

swob/ustal-outhypo

```

# cpx
1 [rola_loz=swob] [lozysko=bar_2r,kul_zw] [wir_obc=pier_zewn] (t:14, u:13)
2 [rola_loz=uklad_X] [lozysko=bar_2r,stożk] (t:6, u:6)
3 [rola_loz=swob] [lozysko=kul_zw,wal_4r,wal_zp] (t:3, u:3)
  [wir_obc=pier_wewn]
4 [obc_Fa=sred] [lozysko=bar_2r] [wir_obc=pier_zewn] (t:3, u:2)
5 [lozysko=igiel,wal_bo] [wir_obc=p_wewn+zewn] (t:2, u:2)
6 [obc_Fa=sred] [lozysko=stożk] [wir_obc=pier_wewn] (t:1, u:1)
7 [lozysko=wal_2r] (t:1, u:1)

```

Liczba przykładów = 374.

- // - błędnie sklasyfikowanych = 52.

>>> Łączny błąd względny = 0.139 (13.90 %).

>>> Względny błąd pominięcia = 0.197 (19.67 %).

>>> Względny błąd niesłusznego zaliczenia = 0.089 (8.89 %).

*** Klasyfikacja przykładów do poszczególnych klas:

(0)	(1)	(2)	<- sklasyfikowany jako
212	20	3	(0) kl: ustal/ustal <235>
17	90	3	(1) kl: ustal/swob <110>
5	4	20	(2) kl: swob/ustal <29>

```

/|\
|
| <--- Błąd pominięcia
|
|
| \|-> Błąd niesłusznego zaliczenia

```

C.1.2 Reguły pozyskane programem C4.5 oraz wyniki klasyfikacji techniką

„leave-one-out”

ustal/ustal-outhypo

```

# cpx
1 [rola_loz=ustal] (t:179, u:11)
2 [lozysko=wal_bo] (t:35, u:2)
3 [lozysko=wal_2r] (t:16, u:1)
4 [lozysko=kul_sk+kul_sk] (t:16, u:1)
5 [obc_Fa=sred..b_duze] (t:16, u:1)

```

ustal/swob-outhypo

```

# cpx
1 [rola_loz=swob] [lozysko=bar_2r] [wir_obc=pier_wewn] (t:56, u:4)
2 [rola_loz=swob] [lozysko=kul_wah] (t:8, u:0)

```

```

3  [rola_loz=swob] [lozysko=kul_zw] [wir_obc=pier_wewn]      (t:10, u:1)
4  [lozysko=bar_2r+kul_wzd]                                  (t:4, u:0)
5  [rola_loz=swob] [lozysko=kul_sk]                          (t:3, u:0)
6  [rola_loz=swob] [lozysko=val_zp]                          (t:5, u:1)
7  [rola_loz=uklad_0]                                         (t:28, u:12)

```

swob/ustal-outhypo

```

#  cpx
1  [rola_loz=swob] [lozysko=kul_zw] [wir_obc=pier_zewn]    (t:4, u:0)
2  [rola_loz=swob] [lozysko=bar_2r] [wir_obc=pier_zewn]    (t:12, u:2)
3  [rola_loz=uklad_X]                                        (t:8, u:2)

```

Liczba przykładów = 374.

- // - błędnie sklasyfikowanych = 43.

>>> Łączny błąd względny = 0.115 (11.50 %).

>>> Względny błąd pominięcia = 0.174 (17.42 %).

>>> Względny błąd niesłusznego zaliczenia = 0.071 (7.10 %).

*** Klasyfikacja przykładów do poszczególnych klas:

(0)	(1)	(2)	<- sklasyfikowany jako
215	17	3	(0) kl: ustal/ustal <235>
12	96	2	(1) kl: ustal/swob <110>
4	5	20	(2) kl: swob/ustal <29>

/|\ |

| <--- Błąd pominięcia |

| | \|-> Błąd niesłusznego zaliczenia

C.1.3 Reguły pozyskane programem **Rosetta** oraz wyniki klasyfikacji techniką „leave-one-out”

ustal/ustal-outhypo

```

#  cpx
1  [rola_loz=ustal] [lozysko=kul_zw]                        (t:32, c:0.136170)
2  [rola_loz=ustal] [lozysko=val_zp]                        (t:15, c:0.063830)
3  [rola_loz=ustal] [lozysko=kul_wah]                       (t:7, c:0.029787)
4  [rola_loz=ustal] [lozysko=kul_sk]                         (t:3, c:0.012766)
5  [rola_loz=uklad_0] [lozysko=kul_sk]                      (t:2, c:0.008511)
6  [rola_loz=uklad_X] [lozysko=kul_sk]                      (t:1, c:0.004255)
7  [lozysko=igiel] [wir_obc=pier_wewn]                      (t:3, c:0.012766)
8  [lozysko=val_bo] [wir_obc=pier_wewn]                     (t:29, c:0.123404)
9  [lozysko=val_bo] [wir_obc=pier_zewn]                     (t:4, c:0.017021)
10 [obc_Fa=b_male] [lozysko=val_bo]                         (t:14, c:0.059574)
11 [obc_Fa=sred] [lozysko=kul_sk]                            (t:2, c:0.008511)
12 [obc_Fa=sred] [lozysko=val_zp]                            (t:1, c:0.004255)
13 [obc_Fa=b_male] [lozysko=igiel]                           (t:1, c:0.004255)
14 [obc_Fa=?] [lozysko=val_2r]                               (t:9, c:0.038298)
15 [obc_Fa=b_male] [lozysko=val_2r]                          (t:6, c:0.025532)
16 [obc_Fa=duze] [lozysko=bar_2r]                            (t:1, c:0.004255)
17 [obc_Fa=b_duze] [lozysko=bar_2r]                          (t:2, c:0.008511)
18 [obc_Fa=male] [lozysko=kul_zw]                            (t:1, c:0.004255)
19 [obc_Fa=b_male] [lozysko=kul_sk]                          (t:1, c:0.004255)
20 [lozysko=kul_sk_2r]                                       (t:3, c:0.012766)
21 [lozysko=val_bo+kul_zw]                                   (t:1, c:0.004255)
22 [lozysko=stozk_2r]                                        (t:9, c:0.038298)
23 [lozysko=val_2r+kul_zw]                                   (t:3, c:0.012766)
24 [lozysko=val_2r+kul_wzd]                                  (t:3, c:0.012766)
25 [lozysko=val_2r+kul_sk_wzd]                               (t:2, c:0.008511)

```

26	[lozysko=stozk+stozk]	(t:2, c:0.008511)
27	[lozysko=kul_zw+wal_bo]	(t:1, c:0.004255)
28	[lozysko=wal_bo+kul_sk_2r]	(t:1, c:0.004255)
29	[lozysko=stozk_4r]	(t:2, c:0.008511)
30	[lozysko=wal_2r+kul_sk_2k]	(t:4, c:0.017021)
31	[lozysko=kul_sk+kul_sk]	(t:5, c:0.021277)
32	[lozysko=wal_4r+kul_sk_2r]	(t:1, c:0.004255)
33	[lozysko=wal_4r+kul_zw]	(t:1, c:0.004255)
34	[lozysko=wal_bo+kul_sk_2k]	(t:1, c:0.004255)
35	[lozysko=bar_2r+bar_wzd]	(t:7, c:0.029787)
36	[lozysko=bar_wzd+bar_wzd]	(t:1, c:0.004255)
37	[lozysko=kul_wah+kul_wzd]	(t:1, c:0.004255)
38	[obc_Fa=?] [rola_loz=ustal] [lozysko=bar_2r] [wir_obc=pier_wewn]	(t:29, c:0.123404)
39	[obc_Fa=?] [rola_loz=ustal] [lozysko=bar_2r] [wir_obc=pier_zewn]	(t:4, c:0.017021)
40	[obc_Fa=sred] [rola_loz=ustal] [lozysko=bar_2r] [wir_obc=pier_zewn]	(t:1, c:0.004255)
41	[obc_Fa=b_male] [rola_loz=swob] [lozysko=bar_2r] [wir_obc=pier_wewn]	(t:2, c:0.008511)
42	[obc_Fa=?] [rola_loz=swob] [lozysko=bar_2r] [wir_obc=pier_wewn]	(t:2, c:0.008511)
43	[obc_Fa=b_male] [rola_loz=ustal]	(t:38, c:0.161702)
44	[obc_Fa=duze] [rola_loz=uklad_O]	(t:2, c:0.008511)
45	[obc_Fa=sred] [rola_loz=uklad_X]	(t:1, c:0.004255)
46	[obc_Fa=sred] [rola_loz=uklad_O]	(t:1, c:0.004255)
47	[obc_Fa=sred] [rola_loz=ustal] [wir_obc=pier_wewn]	(t:6, c:0.025532)
48	[obc_Fa=?] [rola_loz=uklad_O] [wir_obc=pier_wewn]	(t:2, c:0.008511)
49	[obc_Fa=b_male] [rola_loz=uklad_O] [wir_obc=pier_zewn]	(t:2, c:0.008511)
50	[obc_Fa=male] [rola_loz=uklad_O] [wir_obc=pier_zewn]	(t:2, c:0.008511)
51	[obc_Fa=male] [rola_loz=ustal] [lozysko=bar_2r]	(t:2, c:0.008511)

ustal/swob-outhypo

#	cpx	
1	[rola_loz=uklad_O] [lozysko=kul_sk]	(t:3, c:0.027273)
2	[rola_loz=swob] [lozysko=kul_wah]	(t:8, c:0.072727)
3	[rola_loz=swob] [lozysko=kul_sk]	(t:3, c:0.027273)
4	[lozysko=wal_bo] [wir_obc=p_wewn+zewn]	(t:1, c:0.009091)
5	[lozysko=wal_zp] [wir_obc=p_wewn+zewn]	(t:1, c:0.009091)
6	[lozysko=bar_2r] [wir_obc=p_wewn+zewn]	(t:2, c:0.018182)
7	[obc_Fa=b_duze] [lozysko=bar_2r]	(t:2, c:0.018182)
8	[obc_Fa=b_male] [lozysko=kul_sk]	(t:2, c:0.018182)
9	[lozysko=stozk+kul_wzd]	(t:1, c:0.009091)
10	[lozysko=bar_2r+kul_wzd]	(t:4, c:0.036364)
11	[obc_Fa=?] [rola_loz=ustal] [lozysko=bar_2r] [wir_obc=pier_zewn]	(t:4, c:0.036364)
12	[obc_Fa=b_male] [rola_loz=swob] [lozysko=bar_2r] [wir_obc=pier_wewn]	(t:14, c:0.127273)
13	[obc_Fa=?] [rola_loz=swob] [lozysko=bar_2r] [wir_obc=pier_wewn]	(t:36, c:0.327273)
14	[obc_Fa=?] [rola_loz=swob] [lozysko=wal_zp] [wir_obc=pier_wewn]	(t:2, c:0.018182)
15	[obc_Fa=b_male] [rola_loz=swob] [lozysko=kul_zw] [wir_obc=pier_wewn]	(t:2, c:0.018182)
16	[obc_Fa=?] [rola_loz=swob] [lozysko=kul_zw] [wir_obc=pier_wewn]	(t:7, c:0.063636)
17	[obc_Fa=?] [rola_loz=swob] [lozysko=bar_2r] [wir_obc=pier_zewn]	(t:2, c:0.018182)
18	[obc_Fa=male] [rola_loz=swob]	(t:1, c:0.009091)
19	[obc_Fa=?] [rola_loz=uklad_O] [wir_obc=pier_wewn]	(t:6, c:0.054545)
20	[obc_Fa=b_male] [rola_loz=uklad_O] [wir_obc=pier_zewn]	(t:1, c:0.009091)
21	[obc_Fa=male] [rola_loz=uklad_O] [wir_obc=pier_zewn]	(t:1, c:0.009091)
22	[obc_Fa=sred] [rola_loz=swob] [wir_obc=pier_wewn]	(t:1, c:0.009091)
23	[obc_Fa=male] [rola_loz=ustal] [lozysko=bar_2r]	(t:2, c:0.018182)
24	[obc_Fa=b_male] [rola_loz=swob] [lozysko=wal_zp]	(t:1, c:0.009091)

```

25  [obc_Fa=?] [lozysko=stozk] [wir_obc=pier_zewn]      (t:2, c:0.018182)
26  [obc_Fa=male] [lozysko=stozk] [wir_obc=pier_wewn]   (t:2, c:0.018182)
27  [obc_Fa=b_male] [lozysko=stozk] [wir_obc=pier_wewn] (t:2, c:0.018182)

```

swob/ustal-outhypo

```

#  cpx
1  [rola_loz=uklad_X] [lozysko=bar_2r]                 (t:1, c:0.034483)
2  [lozysko=val_bo] [wir_obc=p_wewn+zewn]              (t:1, c:0.034483)
3  [lozysko=igiel] [wir_obc=p_wewn+zewn]              (t:1, c:0.034483)
4  [obc_Fa=?] [lozysko=val_2r]                         (t:1, c:0.034483)
5  [lozysko=val_4r]                                    (t:1, c:0.034483)
6  [obc_Fa=sred] [rola_loz=ustal] [lozysko=bar_2r]    (t:2, c:0.068966)
   [wir_obc=pier_zewn]
7  [obc_Fa=?] [rola_loz=swob] [lozysko=val_zp]        (t:1, c:0.034483)
   [wir_obc=pier_wewn]
8  [obc_Fa=b_male] [rola_loz=swob] [lozysko=kul_zw]   (t:1, c:0.034483)
   [wir_obc=pier_wewn]
9  [obc_Fa=?] [rola_loz=swob] [lozysko=bar_2r]       (t:3, c:0.103448)
   [wir_obc=pier_zewn]
10 [obc_Fa=b_male] [rola_loz=swob] [lozysko=bar_2r]   (t:6, c:0.206897)
   [wir_obc=pier_zewn]
11 [obc_Fa=sred] [rola_loz=uklad_O]                   (t:1, c:0.034483)
12 [obc_Fa=sred] [rola_loz=swob] [wir_obc=pier_zewn]  (t:1, c:0.034483)
13 [obc_Fa=?] [rola_loz=uklad_X] [lozysko=stozk]     (t:5, c:0.172414)
14 [rola_loz=swob] [lozysko=kul_zw] [wir_obc=pier_zewn] (t:4, c:0.137931)

```

Liczba przykładów = 374.

- // - błędnie sklasyfikowanych = 63

>>> Łączny błąd względny = 0.168 (16.84 %).

>>> Względny błąd pominięcia = 0.230 (23.04 %).

>>> Względny błąd niesłusznego zaliczenia = 0.087 (8.67 %).

*** Klasyfikacja przykładów do poszczególnych klas:

(0)	(1)	(2)	<- sklasyfikowany jako
207	15	4	(0) kl: ustal/ustal <235> - 9 prz. nieskl.
16	89	4	(1) kl: ustal/swob <110> - 1 prz. nieskl.
5	7	15	(2) kl: swob/ustal <29> - 2 prz. nieskl.

```

/|\
|
| <--- Błąd pominięcia
|
| |
| | \|--> Błąd niesłusznego zaliczenia

```

ZAŁĄCZNIK D

Dobór uszczelnień

D.1 Opis dziedziny zastosowania

D.1.1 Rozwiązania projektowe

Identyfikator rozwiązania	Nazwa rozwiązania projektowego
bezst+bezst	uszczelnienie bezstykowe + uszczelnienie bezstykowe
bezstyk	uszczelnienie bezstykowe
styk+bezst	uszczelnienie stykowe + bezstykowe
styk+styk	uszczelnienie stykowe + uszczelnienie stykowe
stykowe	uszczelnienie stykowe

D.1.2 Atrybuty

Identyfikator atrybutu	Nazwa atrybutu
sr_walu	średnica wału
ug_walu	ugięcie wału (wychylenie kątowe pierścieni łożyska)
pr_obw	prędkość obwodowa wału
r_smar	rodzaj smarowania
temp	temperatura pracy łożyska
dz_wody	działanie wody
zan_pow	zanieczyszczenie powietrza
ukl_walu	układ wału

D.1.3 Wartości cech

1) sr_walu [mm]

Progi kwantowania wartości cechy		Identyfikatory wartości cechy
ponad	do	
-	43,288	b_mala
43,288	93,693	mala
93,693	202,790	sred
202,790	438,920	duza
438,920	-	b_duza

2) ug_walu [°]

Progi kwantowania wartości cechy		Identyfikatory wartości cechy
ponad	do	
-	0,0001781	b_male
0,0001781	0,0010595	male
0,0010595	0,0063030	sred
0,0063030	0,0374968	duze
0,0374968	-	b_duze

3) pr_obw [m/s]

Progi kwantowania wartości cechy		Identyfikatory wartości cechy
ponad	do	
-	3,24285	b_mala
3,24285	4,64041	mala
4,64041	6,64028	sred
6,64028	9,50205	duza
9,50205	-	b_duza

4) r_smar - przyjmuje wartości:

- a) smar
- b) olej

5) temp [°C]

Progi kwantowania wartości cechy		Identyfikatory wartości cechy
ponad	do	
-	60	b_mala
60	100	mala
100	140	sred
140	180	duza
180	-	b_duza

6) dz_wody - przyjmuje wartości:

- a) brak_dz (brak działania)
- b) kroplowe (kroplowe)
- c) natrysk (natryskowe)
- d) cisnien (pod ciśnieniem)

7) zan_pow - przyjmuje wartości:

- a) nieznacz (nieznaczone)
- b) umiark (umiarkowane)
- c) silne (silne)
- d) b_silne (bardzo silne)

8) ukl_walu - przyjmuje wartości:

- a) pion (pionowy)
- b) poz (poziomy)

D.2 Zbiór przykładów uczących

```
title
# text
1 "Plik zawiera 160 przykladow - 5 rozwiazan projektowych."
```

```
Parameters
run mode ambig trim wts maxstar echo verbose
1 ic pos mini cpx 10 p. 1
```

```
domaintypes
type size name
lin 5 sr_walu
lin 5 ug_walu
lin 5 pr_obw
nom 2 r_smar
lin 5 temp
lin 4 dz_wody
lin 4 zan_pow
nom 2 ukl_walu
```

```
variables
type size name
lin 5 sr_walu
lin 5 ug_walu
lin 5 pr_obw
nom 2 r_smar
lin 5 temp
nom 3 dz_wody
nom 4 zan_pow
nom 2 ukl_walu
```

```
sr_walu-names
value name
0 b_mala
1 mala
2 sred
3 duza
4 b_duza
```

```
ug_walu-names
value name
0 b_male
1 male
2 sred
3 duze
4 b_duze
```

```
pr_obw-names
value name
0 b_mala
1 mala
2 sred
3 duza
4 b_duza
```



```

r_smar-names
value name
0 smar
1 olej

```

```

temp-names
value name
0 b_mala
1 mala
2 sred
3 duza
4 b_duza

```

```

dz_wody-names
value name
0 brak_dz
1 kroplowe
2 natrysk
3 cisnien

```

```

zan_pow-names
value name
0 nieznacz
1 umiark
2 silne
3 b_silne

```

```

ukl_walu-names
value name
0 poz
1 pion

```

bezst+bezst-events

sr_walu	ug_walu	pr_obw	r_smar	temp	dz_wody	zan_pow	ukl_walu
duza	b_duze	duza	olej	mala	brak_dz	silne	poz
b_mala	?	b_duza	olej	b_mala	brak_dz	nieznacz	poz
b_mala	?	b_duza	olej	b_mala	brak_dz	nieznacz	poz
b_mala	?	b_duza	olej	b_mala	brak_dz	nieznacz	poz
b_mala	?	b_duza	olej	b_mala	brak_dz	nieznacz	poz
b_mala	?	b_duza	olej	b_mala	brak_dz	nieznacz	poz
duza	?	b_mala	olej	mala	brak_dz	umiark	poz
mala	?	b_mala	olej	b_mala	brak_dz	nieznacz	poz
mala	?	b_mala	olej	b_mala	brak_dz	nieznacz	poz

bezstyk-events

sr_walu	ug_walu	pr_obw	r_smar	temp	dz_wody	zan_pow	ukl_walu
sred	?	b_mala	olej	?	brak_dz	umiark	pion
sred	?	b_mala	smar	?	brak_dz	umiark	poz
sred	?	b_mala	smar	b_mala	brak_dz	nieznacz	poz
duza	?	b_mala	smar	b_mala	brak_dz	silne	poz
duza	?	b_mala	smar	b_mala	brak_dz	silne	poz
b_mala	?	b_mala	smar	b_mala	kroplowe	silne	poz
b_mala	?	b_mala	smar	b_mala	kroplowe	silne	poz
sred	duze	duza	smar	mala	brak_dz	umiark	poz
sred	duze	b_duza	smar	mala	brak_dz	umiark	poz
mala	duze	sred	smar	mala	brak_dz	umiark	poz
mala	duze	duza	smar	mala	brak_dz	umiark	poz
?	?	sred	smar	?	kroplowe	silne	poz
?	?	sred	smar	?	brak_dz	umiark	poz
?	?	sred	smar	?	kroplowe	silne	poz
mala	?	b_mala	olej	b_mala	brak_dz	nieznacz	poz
mala	?	duza	olej	b_mala	brak_dz	nieznacz	poz
sred	?	sred	olej	b_mala	brak_dz	nieznacz	poz
mala	?	sred	olej	b_mala	brak_dz	nieznacz	poz
b_mala	?	b_duza	olej	b_mala	brak_dz	silne	poz
mala	?	mala	smar	b_mala	brak_dz	silne	pion

mala	?	b_mala	smar	b_mala	brak_dz	silne	pion
sred	?	duza	smar	b_mala	brak_dz	silne	pion
mala	?	b_duza	smar	?	brak_dz	silne	pion
b_mala	?	b_duza	smar	?	brak_dz	silne	pion
mala	?	b_duza	smar	?	brak_dz	silne	pion
b_mala	?	b_duza	smar	?	brak_dz	silne	pion
mala	b_duze	b_mala	smar	?	brak_dz	nieznacz	poz
sred	?	b_mala	smar	?	brak_dz	umiark	poz
sred	?	b_mala	smar	?	brak_dz	nieznacz	poz
sred	?	b_mala	smar	?	brak_dz	nieznacz	poz
duza	?	b_mala	smar	?	brak_dz	nieznacz	poz
duza	?	b_mala	smar	?	brak_dz	nieznacz	poz
mala	b_duze	b_mala	smar	?	brak_dz	umiark	poz
mala	b_duze	b_mala	smar	?	brak_dz	umiark	poz
mala	b_duze	b_mala	smar	?	brak_dz	umiark	poz
mala	b_duze	b_mala	smar	?	brak_dz	umiark	poz
b_mala	?	b_mala	smar	?	brak_dz	nieznacz	poz
b_mala	?	b_mala	smar	?	brak_dz	nieznacz	poz
b_mala	?	b_mala	smar	?	brak_dz	nieznacz	poz
b_mala	?	b_mala	smar	?	brak_dz	nieznacz	poz
b_mala	?	?	smar	?	brak_dz	nieznacz	poz
b_mala	?	?	smar	?	brak_dz	nieznacz	poz
b_mala	?	b_mala	olej	?	brak_dz	nieznacz	pion
sred	?	b_mala	smar	b_mala	brak_dz	umiark	poz
sred	?	b_mala	smar	b_mala	brak_dz	umiark	poz
duza	?	b_mala	smar	b_mala	brak_dz	umiark	poz
duza	?	b_mala	smar	b_mala	brak_dz	umiark	poz
sred	?	b_mala	smar	?	brak_dz	umiark	poz
sred	?	?	smar	?	brak_dz	nieznacz	poz
mala	?	?	smar	?	brak_dz	umiark	poz
b_mala	?	b_mala	smar	?	brak_dz	nieznacz	poz
b_mala	?	b_mala	smar	?	brak_dz	nieznacz	poz

styk+bezst-events

sr_walu	ug_walu	pr_obw	r_smar	temp	dz_wody	zan_pow	ukl_walu
duza	duze	b_mala	smar	?	kroplowe	silne	poz
sred	?	duza	smar	?	brak_dz	b_silne	poz
b_duza	?	b_mala	smar	?	kroplowe	b_silne	poz
duza	?	b_mala	smar	?	kroplowe	b_silne	poz
b_duza	?	b_mala	smar	?	kroplowe	b_silne	poz
duza	?	b_mala	smar	?	kroplowe	b_silne	poz
b_duza	?	b_mala	smar	?	kroplowe	b_silne	poz
duza	?	mala	smar	?	kroplowe	b_silne	poz
duza	?	b_mala	smar	?	kroplowe	b_silne	poz
b_duza	?	sred	smar	?	kroplowe	b_silne	poz
duza	?	b_mala	smar	?	kroplowe	b_silne	poz
b_duza	?	sred	smar	?	kroplowe	b_silne	poz
duza	?	b_mala	smar	?	kroplowe	b_silne	poz
?	?	sred	smar	?	kroplowe	silne	poz
?	?	sred	smar	?	kroplowe	silne	poz
?	?	sred	smar	?	brak_dz	umiark	poz
?	?	b_mala	smar	?	natrysk	umiark	pion
?	?	b_mala	smar	?	natrysk	silne	pion
?	?	b_mala	smar	?	cisnien	umiark	pion
?	?	b_mala	smar	?	cisnien	silne	pion
mala	b_duze	b_mala	smar	?	kroplowe	silne	poz
mala	b_duze	b_mala	smar	?	kroplowe	silne	poz
sred	b_duze	b_mala	smar	?	kroplowe	silne	poz
sred	b_duze	b_mala	smar	?	kroplowe	silne	poz
mala	?	?	smar	?	kroplowe	silne	pion
mala	?	?	smar	?	kroplowe	silne	pion

styk+styk-events							
sr_walu	ug_walu	pr_obw	r_smar	temp	dz_wody	zan_pow	ukl_walu
b_duza	sred	b_mala	olej	?	kroplowe	b_silne	pion
b_duza	b_male	b_mala	olej	?	kroplowe	b_silne	pion
b_duza	male	b_mala	olej	?	kroplowe	b_silne	pion
b_duza	b_male	b_mala	olej	?	kroplowe	b_silne	pion
mala	duze	b_duza	smar	mala	kroplowe	nieznacz	poz
duza	?	mala	olej	b_mala	natrysk	umiark	poz
?	?	b_mala	smar	?	kroplowe	umiark	pion

stykowe-events							
sr_walu	ug_walu	pr_obw	r_smar	temp	dz_wody	zan_pow	ukl_walu
b_mala	?	b_mala	smar	b_mala	kroplowe	b_silne	poz
sred	?	b_mala	smar	?	kroplowe	umiark	pion
mala	sred	mala	olej	mala	brak_dz	silne	poz
sred	duze	b_mala	olej	b_mala	kroplowe	umiark	poz
duza	?	b_mala	smar	?	kroplowe	b_silne	poz
duza	?	b_mala	smar	?	kroplowe	b_silne	poz
duza	?	b_mala	smar	?	kroplowe	b_silne	poz
duza	?	b_mala	smar	?	kroplowe	b_silne	poz
duza	?	b_mala	smar	?	kroplowe	b_silne	poz
duza	?	b_mala	smar	?	kroplowe	b_silne	poz
duza	?	b_mala	smar	?	kroplowe	b_silne	poz
mala	?	duza	smar	sred	kroplowe	b_silne	poz
mala	?	b_mala	smar	sred	kroplowe	b_silne	poz
b_mala	?	b_mala	smar	?	natrysk	b_silne	poz
b_mala	?	b_mala	smar	?	natrysk	b_silne	poz
b_mala	?	b_mala	smar	?	natrysk	b_silne	poz
b_mala	?	b_mala	smar	?	natrysk	b_silne	poz
b_mala	?	duza	olej	?	kroplowe	umiark	poz
b_mala	?	b_mala	olej	?	kroplowe	umiark	poz
b_mala	?	b_mala	olej	?	kroplowe	umiark	poz
b_mala	?	mala	olej	?	kroplowe	umiark	poz
b_mala	?	sred	olej	?	kroplowe	umiark	poz
b_mala	male	b_mala	olej	?	natrysk	silne	poz
b_mala	male	b_mala	olej	?	natrysk	silne	poz
b_mala	male	mala	olej	?	natrysk	silne	poz
b_mala	male	sred	olej	?	natrysk	silne	poz
duza	?	duza	olej	b_mala	kroplowe	umiark	poz
sred	?	b_mala	olej	b_mala	natrysk	umiark	poz
sred	?	mala	olej	b_mala	natrysk	umiark	poz
b_duza	?	b_mala	olej	b_mala	brak_dz	silne	poz
?	?	b_mala	smar	?	kroplowe	umiark	pion
sred	?	b_mala	smar	?	kroplowe	umiark	poz
duza	?	b_mala	smar	?	kroplowe	umiark	poz
duza	?	b_mala	smar	?	kroplowe	umiark	poz
mala	?	b_mala	?	?	kroplowe	umiark	poz
mala	?	b_mala	?	?	brak_dz	silne	poz
sred	?	b_mala	smar	?	kroplowe	umiark	poz
sred	?	b_mala	smar	?	brak_dz	silne	poz
b_mala	?	?	smar	?	kroplowe	umiark	poz
b_mala	?	?	smar	?	brak_dz	silne	poz
mala	?	mala	olej	?	kroplowe	silne	poz
mala	?	b_mala	olej	?	brak_dz	silne	poz
mala	?	mala	olej	?	kroplowe	silne	poz
mala	?	?	smar	?	kroplowe	umiark	poz
mala	?	?	smar	?	kroplowe	umiark	poz
mala	?	b_mala	olej	?	brak_dz	silne	poz
mala	?	sred	olej	?	kroplowe	umiark	poz
b_mala	?	b_mala	olej	?	brak_dz	silne	poz
duza	?	b_mala	olej	b_mala	kroplowe	umiark	poz
duza	?	b_mala	olej	b_duza	brak_dz	silne	poz
sred	?	b_mala	olej	sred	kroplowe	umiark	poz
sred	?	b_mala	olej	duza	brak_dz	silne	poz
sred	?	b_mala	smar	?	kroplowe	silne	poz
sred	?	b_mala	olej	?	brak_dz	silne	poz
sred	?	?	smar	?	kroplowe	umiark	poz
sred	?	?	smar	?	brak_dz	silne	poz

sred	?	?	smar	?	kroplowe	umiark	poz
mala	?	?	smar	?	brak_dz	silne	poz
mala	?	b_mala	?	?	kroplowe	umiark	poz
mala	?	sred	?	?	brak_dz	silne	poz
sred	?	b_mala	smar	?	kroplowe	silne	poz
mala	?	b_mala	olej	?	brak_dz	silne	poz
mala	?	b_mala	olej	?	kroplowe	umiark	poz

D.3 Zbiory reguł

D.3.1 Reguły pozyskane programem **AQ15c** oraz wyniki klasyfikacji techniką „leave-one-out”

```

parameters
run   mode   ambig   trim   wts   maxstar   echo   criteria   verbose
1     ic     pos     mini   cpx   10        p      default    1

bezst+bezst-outhypo
#   cpx
1   [pr_obw=b_duza] [r_smar=olej] [zan_pow=nieznacz] (t:6, u:6)
2   [sr_walu=duza] [r_smar=olej] [temp=mala] (t:2, u:2)
3   [pr_obw=b_mala] [r_smar=olej] [zan_pow=nieznacz] (t:2, u:2)
    [ukl_walu=poz]

bezstyk-outhypo
#   cpx
1   [r_smar=smar] [dz_wody=brak_dz] [zan_pow=nieznacz..umiark] (t:32, u:6)
2   [sr_walu=b_mala..sred] [pr_obw=b_mala,sred..duza] (t:28, u:4)
    [dz_wody=brak_dz] [zan_pow=nieznacz..umiark]
3   [dz_wody=brak_dz] [ukl_walu=pion] (t:9, u:7)
4   [sr_walu=duza] [r_smar=smar] [dz_wody=brak_dz] (t:6, u:2)
5   [sr_walu=b_mala] [dz_wody=kroplowe] [zan_pow=silne] (t:2, u:2)
6   [pr_obw=sred] [dz_wody=kroplowe] [zan_pow=silne] (t:2, u:2)
    [ukl_walu=poz]
7   [pr_obw=b_duza] [r_smar=olej] [zan_pow=silne] (t:1, u:1)

styk+bezst-outhypo
#   cpx
1   [sr_walu=duza..b_duza] [r_smar=smar] [dz_wody=kroplowe] (t:15, u:15)
    [zan_pow=silne..b_silne]
2   [dz_wody=natrysk..cisnien] [ukl_walu=pion] (t:4, u:4)
3   [sr_walu=mala] [r_smar=smar] [dz_wody=kroplowe] (t:4, u:4)
    [zan_pow=silne]
4   [pr_obw=sred] [dz_wody=kroplowe] [zan_pow=silne] (t:2, u:2)
5   [sr_walu=sred] [dz_wody=kroplowe] [zan_pow=silne] (t:2, u:2)
6   [dz_wody=brak_dz] [zan_pow=b_silne] (t:1, u:1)
7   [pr_obw=sred] [dz_wody=brak_dz] [zan_pow=umiark] (t:1, u:1)

styk+styk-outhypo
#   cpx
1   [zan_pow=b_silne] [ukl_walu=pion] (t:4, u:4)
2   [dz_wody=kroplowe] [zan_pow=nieznacz] (t:1, u:1)
3   [sr_walu=duza] [pr_obw=mala] (t:1, u:1)
4   [dz_wody=kroplowe] [zan_pow=umiark] [ukl_walu=pion] (t:1, u:1)

stykowe-outhypo
#   cpx
1   [dz_wody=kroplowe] [zan_pow=umiark] (t:24, u:12)
2   [sr_walu=b_mala..sred] [r_smar=olej] (t:17, u:3)
    [dz_wody=kroplowe..natrysk]
3   [pr_obw=b_mala..mala] [r_smar=olej] [zan_pow=silne] (t:14, u:3)
4   [sr_walu=b_mala..mala,duza] [dz_wody=kroplowe..natrysk] (t:13, u:13)

```

```

      [zan_pow=b_silne]
5  [sr_walu=mala..sred] [dz_wody=brak_dz] [zan_pow=silne]      (t:11, u:5)
   [ukl_walu=poz]
6  [sr_walu=sred] [pr_obw=b_mala] [dz_wody=kroplowe]      (t:7, u:2)
7  [sr_walu=b_mala] [r_smar=smar] [dz_wody=brak_dz]      (t:1, u:1)
   [zan_pow=silne] [ukl_walu=poz]

```

Liczba przykładów = 160.

- // - błędnie sklasyfikowanych = 30.

>>> Łączny błąd względny = 0.188 (18.75 %).

>>> Względny błąd pominięcia = 0.272 (27.24 %).

>>> Względny błąd niesłusznego zaliczenia = 0.051 (5.11 %).

*** Klasyfikacja przykładów do poszczególnych klas:

(0)	(1)	(2)	(3)	(4)	<- sklasyfikowany jako
6	4	-	-	-	(0) kl: bezst+bezst <10>
3	47	2	-	-	(1) kl: bezstyk <52>
-	5	21	-	3	(2) kl: styk+bezst <29>
-	-	-	4	3	(3) kl: styk+styk <7>
1	1	7	1	52	(4) kl: stykowe <62>

/|\

<--- Błąd pominięcia	\ /---> Błąd niesłusznego zaliczenia

D.3.2 Reguły pozyskane programem C4.5 oraz wyniki klasyfikacji techniką „leave-one-out”

```

bezst+bezst-outhypo
# cpx
1  [r_smar=olej] [dz_wody=brak_dz]      (t:18, u:10)

bezstyk-outhypo
# cpx
1  [r_smar=smar] [dz_wody=brak_dz] [zan_pow=nieznacz]      (t:15, u:0)
2  [r_smar=smar] [dz_wody=brak_dz] [zan_pow=umiark]      (t:18, u:1)
3  [dz_wody=brak_dz] [ukl_walu=pion]      (t:9, u:0)
4  [pr_obw=b_mala..duza] [zan_pow=nieznacz]      (t:6, u:2)

styk+bezst-outhypo
# cpx
1  [sr_walu=mala..b_duza] [r_smar=smar] [dz_wody=kroplowe]      (t:9, u:2)
   [zan_pow=silne]
2  [dz_wody=natrysk] [ukl_walu=pion]      (t:2, u:0)
3  [dz_wody=cisnien]      (t:2, u:0)
4  [r_smar=smar] [zan_pow=b_silne]      (t:7, u:0)

styk+styk-outhypo
# cpx
1  [r_smar=olej] [zan_pow=b_silne]      (t:4, u:0)

stykowe-outhypo
# cpx
1  [pr_obw=b_mala..sred] [r_smar=olej] [zan_pow=silne]      (t:6, u:0)
2  [dz_wody=kroplowe] [zan_pow=umiark]      (t:25, u:1)
3  [sr_walu=b_mala..sred] [dz_wody=brak_dz] [zan_pow=silne]      (t:6, u:0)
   [ukl_walu=poz]
4  [dz_wody=natrysk] [ukl_walu=poz]      (t:6, u:1)
5  [sr_walu=b_mala..duza] [zan_pow=b_silne]      (t:18, u:8)

```

```

Liczba przykładów = 160.
- // - błędnie sklasyfikowanych = 56.
>>> Łączny błąd względny          = 0.350 (35.00 %).
>>> Względny błąd pominięcia      = 0.392 (39.18 %).
>>> Względny błąd niesłusznego zaliczenia = 0.094 (9.42 %).

```

*** Klasyfikacja przykładów do poszczególnych klas:

(0)	(1)	(2)	(3)	(4)	<- sklasyfikowany jako
6	3	-	-	1	(0) kl: bezst+bezst <10>
4	43	2	-	3	(1) kl: bezstyk <52>
-	5	12	2	10	(2) kl: styk+bezst <29>
-	1	-	4	2	(3) kl: styk+styk <7>
9	3	9	2	39	(4) kl: stykowe <62>


```

/|\
|
| <--- Błąd pominięcia          \|-> Błąd niesłusznego zaliczenia

```

D.3.3 Reguły pozyskane programem *Rosetta* oraz wyniki klasyfikacji techniką „leave-one-out”

```

bezst+bezst-outhypo
# cpx
1 [sr_walu=duza] [ug_walu=b_duze] (t:1, c:0.100000)
2 [pr_obw=b_duza] [r_smar=olej] [zan_pow=nieznacz] (t:6, c:0.600000)
3 [sr_walu=duza] [temp=mala] (t:2, c:0.200000)
4 [sr_walu=mala] [ug_walu=?] [pr_obw=b_mala] (t:2, c:0.200000)
  [zan_pow=nieznacz]

bezstyk-outhypo
# cpx
1 [sr_walu=mala] [ug_walu=?] [pr_obw=b_mala] (t:1, c:0.019231)
  [zan_pow=nieznacz]
2 [dz_wody=brak_dz] [ukl_walu=pion] (t:9, c:0.173077)
3 [sr_walu=sred] [dz_wody=brak_dz] [zan_pow=umiark] (t:8, c:0.153846)
4 [sr_walu=sred] [zan_pow=nieznacz] (t:5, c:0.096154)
5 [sr_walu=duza] [zan_pow=nieznacz] (t:2, c:0.038461)
6 [sr_walu=duza] [r_smar=smar] [temp=b_mala] (t:4, c:0.076923)
7 [sr_walu=sred] [r_smar=smar] [temp=b_mala] (t:4, c:0.076923)
8 [r_smar=smar] [temp=b_mala] [zan_pow=silne] (t:7, c:0.134615)
9 [ug_walu=duze] [pr_obw=duza] (t:2, c:0.038461)
10 [ug_walu=duze] [pr_obw=sred] (t:1, c:0.019231)
11 [sr_walu=sred] [pr_obw=b_duza] (t:1, c:0.019231)
12 [sr_walu=?] [pr_obw=sred] (t:3, c:0.057692)
13 [pr_obw=duza] [zan_pow=nieznacz] (t:1, c:0.019231)
14 [pr_obw=sred] [zan_pow=nieznacz] (t:2, c:0.038461)
15 [pr_obw=b_duza] [zan_pow=silne] (t:5, c:0.096154)
16 [pr_obw=?] [zan_pow=nieznacz] (t:3, c:0.057692)
17 [pr_obw=mala] [ukl_walu=pion] (t:1, c:0.019231)
18 [pr_obw=duza] [ukl_walu=pion] (t:1, c:0.019231)
19 [temp=b_mala] [ukl_walu=pion] (t:3, c:0.057692)
20 [pr_obw=b_duza] [temp=?] (t:4, c:0.076923)
21 [ug_walu=b_duze] [zan_pow=nieznacz] (t:1, c:0.019231)
22 [ug_walu=b_duze] [zan_pow=umiark] (t:4, c:0.076923)
23 [temp=?] [zan_pow=nieznacz] (t:15, c:0.288462)
24 [sr_walu=mala] [pr_obw=?] [dz_wody=brak_dz] (t:1, c:0.019231)
  [zan_pow=umiark]

```

styk+bezst-outhypo

#	cpx	
1	[sr_walu=duza] [ug_walu=duze]	(t:1, c:0.034483)
2	[sr_walu=sred] [ug_walu=b_duze]	(t:2, c:0.068966)
3	[sr_walu=duza] [zan_pow=b_silne]	(t:7, c:0.241379)
4	[sr_walu=?] [pr_obw=sred]	(t:3, c:0.103448)
5	[sr_walu=b_duza] [pr_obw=mala]	(t:1, c:0.034483)
6	[sr_walu=b_duza] [pr_obw=sred]	(t:3, c:0.103448)
7	[pr_obw=?] [ukl_walu=pion]	(t:2, c:0.068966)
8	[sr_walu=sred] [pr_obw=duza] [temp=?]	(t:1, c:0.034483)
9	[sr_walu=b_duza] [r_smar=smar]	(t:7, c:0.241379)
10	[sr_walu=?] [dz_wody=natrysk]	(t:2, c:0.068966)
11	[dz_wody=cisnien]	(t:2, c:0.068966)
12	[ug_walu=b_duze] [dz_wody=kroplowe]	(t:4, c:0.137931)

styk+styk-outhypo

#	cpx	
1	[sr_walu=b_duza] [ug_walu=sred]	(t:1, c:0.142857)
2	[sr_walu=b_duza] [ug_walu=male]	(t:1, c:0.142857)
3	[sr_walu=duza] [pr_obw=mala]	(t:1, c:0.142857)
4	[ug_walu=b_male]	(t:2, c:0.285714)
5	[pr_obw=b_duza] [dz_wody=kroplowe]	(t:1, c:0.142857)
6	[sr_walu=?] [pr_obw=b_mala] [dz_wody=kroplowe]	(t:1, c:0.142857)

stykowe-outhypo

#	cpx	
1	[sr_walu=mala] [ug_walu=sred]	(t:1, c:0.016129)
2	[sr_walu=b_mala] [ug_walu=male]	(t:4, c:0.064516)
3	[sr_walu=b_duza] [temp=b_mala]	(t:1, c:0.016129)
4	[sr_walu=sred] [ug_walu=?] [pr_obw=b_mala] [zan_pow=silne]	(t:5, c:0.080645)
5	[sr_walu=duza] [dz_wody=kroplowe] [zan_pow=umiark]	(t:4, c:0.064516)
6	[sr_walu=duza] [zan_pow=b_silne]	(t:7, c:0.112903)
7	[sr_walu=b_mala] [zan_pow=b_silne]	(t:4, c:0.064516)
8	[sr_walu=b_mala] [zan_pow=umiark]	(t:6, c:0.096774)
9	[sr_walu=mala] [r_smar=olej] [temp=?]	(t:7, c:0.112903)
10	[sr_walu=b_mala] [pr_obw=duza]	(t:1, c:0.016129)
11	[sr_walu=b_mala] [pr_obw=mala]	(t:2, c:0.032258)
12	[sr_walu=b_mala] [pr_obw=sred]	(t:2, c:0.032258)
13	[sr_walu=sred] [pr_obw=mala]	(t:1, c:0.016129)
14	[sr_walu=mala] [pr_obw=sred] [temp=?]	(t:2, c:0.032258)
15	[sr_walu=b_mala] [dz_wody=natrysk]	(t:7, c:0.112903)
16	[sr_walu=sred] [dz_wody=natrysk]	(t:2, c:0.032258)
17	[pr_obw=duza] [dz_wody=kroplowe]	(t:3, c:0.048387)
18	[sr_walu=?] [pr_obw=b_mala] [dz_wody=kroplowe]	(t:1, c:0.016129)
19	[sr_walu=b_mala] [pr_obw=?] [dz_wody=kroplowe]	(t:1, c:0.016129)
20	[sr_walu=sred] [pr_obw=?] [dz_wody=kroplowe]	(t:2, c:0.032258)
21	[sr_walu=sred] [ug_walu=?] [dz_wody=kroplowe]	(t:8, c:0.129032)
22	[ug_walu=duze] [r_smar=olej]	(t:1, c:0.016129)
23	[temp=sred]	(t:2, c:0.032258)
24	[temp=b_duza]	(t:2, c:0.032258)
25	[temp=duza]	(t:1, c:0.016129)
26	[r_smar=?]	(t:4, c:0.064516)
27	[sr_walu=b_mala] [pr_obw=?] [zan_pow=silne]	(t:1, c:0.016129)
28	[sr_walu=sred] [pr_obw=?] [zan_pow=silne]	(t:1, c:0.016129)
29	[sr_walu=mala] [pr_obw=mala] [r_smar=olej]	(t:3, c:0.048387)
30	[pr_obw=?] [dz_wody=kroplowe] [zan_pow=umiark]	(t:5, c:0.080645)
31	[pr_obw=?] [dz_wody=brak_dz] [zan_pow=silne]	(t:3, c:0.048387)
32	[sr_walu=b_mala] [pr_obw=b_mala] [r_smar=olej] [zan_pow=silne]	(t:3, c:0.048387)
33	[sr_walu=duza] [r_smar=olej] [dz_wody=kroplowe]	(t:2, c:0.032258)
34	[sr_walu=sred] [r_smar=olej] [zan_pow=silne]	(t:2, c:0.032258)

```

Liczba przykładów = 160.
- // - błędnie sklasyfikowanych = 44.
>>> Łączny błąd względny           = 0.275 (27.50 %).
>>> Względny błąd pominięcia       = 0.337 (33.66 %).
>>> Względny błąd niesłusznego zaliczenia = 0.071 (7.14 %).

```

*** Klasyfikacja przykładów do poszczególnych klas:

(0)	(1)	(2)	(3)	(4)	<- sklasyfikowany jako
----	----	----	----	----	
8	1	-	-	1	(0) kl: bezst+bezst <10>
2	43	3	-	2	(1) kl: bezstyk <52> - 2 prz. nieskl.
-	4	17	-	8	(2) kl: styk+bezst <29>
-	1	-	2	4	(3) kl: styk+styk <7>
-	5	7	1	46	(4) kl: stykowe <62> - 3 prz. nieskl.

```

/|\
|
| <--- Błąd pominięcia
|\ /---> Błąd niesłusznego zaliczenia

```