

**Politechnika Śląska
Wydział Mechaniczny Technologiczny
Katedra Podstaw Konstrukcji Maszyn**

Andrzej Mazurek

**Reprezentacja
wiedzy
projektowo -
konstrukcyjnej
za pomocą
sieci przekonań**

Gliwice 2006

Recenzenci

Prof. dr hab. Wojciech Moczulski, Politechnika Śląska

Prof. dr hab. inż. Jerzy Pokojski, Politechnika Warszawska

Redaktor zeszytów

Wojciech Cholewa

Redaktor techniczny

Marek Wyleźoń

Projekt okładki

Wojciech Cholewa, Marek Wyleźoń

ISBN 83–916957–4–3

Wydawca

Katedra Podstaw Konstrukcji Maszyn

Wydział Mechaniczny Technologiczny

Politechnika Śląska

ul. Konarskiego 18a, 44-100 Gliwice

tel. +48 32 237 1467, fax +48 32 237 1360

<https://kpk.m.polsl.pl>

Od autora

Zeszyt ten został opracowany na podstawie mojej pracy doktorskiej, wykonanej pod kierunkiem prof. dra hab. inż. Wojciecha Cholewy. Publiczna obrona rozprawy odbyła się 7 grudnia 2005 roku przed Komisją powołaną przez Radę Wydziału Mechanicznego Technologicznego. W opracowaniu zostały uwzględnione uwagi recenzentów rozprawy doktorskiej: prof. dra hab. Wojciecha Moczulskiego i prof. dra hab. inż. Jerzego Pokoj-skiego.

Wprowadzono nowe rozdziały 2.2.1; 2.2.2 oraz zmodyfikowano częściowo treść i tytuły rozdziałów 2.1; 4.1; 6; 7; 7.1; 7.2.

Składam serdeczne podziękowania Koleżankom i Kolegom z Katedry Podstaw Konstrukcji Maszyn Politechniki Śląskiej za okazaną mi pomoc i życzliwość w czasie wykonywania pracy. Szczególnie zaś dziękuję prof. dr. hab. inż. Wojciechowi Cholewie za możliwość podjęcia i realizacji samodzielnych badań oraz cenne uwagi krytyczne.

Gliwice, marzec 2006

Andrzej Mazurek

Spis treści

Od autora	3
Rozdział 1. Wstęp	9
1.1. Cel rozprawy	10
1.2. Tezy	10
1.3. Zakres rozprawy	11
Rozdział 2. Wiedza w procesie projektowania i konstruowania maszyn	13
2.1. Proces projektowania i konstruowania	14
2.2. Reprezentacja wiedzy inżynierskiej	16
2.2.1. Model produktu	17
2.2.2. Model procesu projektowego	18
2.2.3. Reprezentacja wiedzy przybliżonej i niedokładnej	19
2.3. Źródła wiedzy inżynierskiej	20
2.4. Pozyskiwanie wiedzy	21
2.4.1. Pozyskiwanie wiedzy od specjalistów	22
2.4.2. Metody automatycznego pozyskiwania wiedzy	22
2.5. Systemy doradcze w projektowaniu maszyn	22
2.5.1. Zastosowanie	23
2.5.2. Integracja systemów doradczych z systemami CAD	23
2.6. Podsumowanie	24
Rozdział 3. Sieć przekonań	25
3.1. Twierdzenie Bayesa	26
3.2. Stopnie przekonania	27
3.3. Uczenie sieci przekonań	28
3.4. Oprogramowanie	28
3.5. Zastosowanie w dziedzinie projektowania i konstruowania maszyn	29
3.6. Podsumowanie	29
Rozdział 4. Problem badawczy	31
4.1. Opis przedmiotu badań	31
4.2. Plan badań	33
Rozdział 5. Opis metody. Budowa modelu projektowanego obiektu	35
5.1. Opis metody. Model projektowanego obiektu	35

5.2.	Gromadzenie wiedzy. Budowa sieci przekonań	36
5.2.1.	Dekompozycja	37
5.2.2.	Opis zadania	37
5.2.3.	Budowa podsieci	38
5.2.4.	Łączenie podsieci	40
5.3.	Pozyskiwanie wiedzy. Uczenie sieci przekonań	40
5.3.1.	Źródła wiedzy	41
5.3.2.	Przykłady uczące	41
5.3.3.	Uczenie sieci	42
5.4.	Stosowanie wiedzy. Działanie sieci przekonań	42
5.4.1.	Rozróżnialność stanów	42
Rozdział 6. Model projektowanego obiektu dla wybranego zadania projektowo-konstrukcyjnego		43
6.1.	Zadanie projektowo-konstrukcyjne	43
6.2.	Dekompozycja	44
6.3.	Opis zadania	44
6.3.1.	Układ łożyskowania	45
6.3.2.	Typ łożyska tocznego	46
6.3.3.	Ustalenie osiowe łożyska	49
6.3.4.	Rozwiązania łożyskowania wałów maszynowych	53
6.4.	Budowa podsieci	57
6.4.1.	Układ łożyskowania	57
6.4.2.	Typ łożyska tocznego	58
6.4.3.	Ustalenie osiowe łożyska	58
6.4.4.	Rozwiązania łożyskowania wałów maszynowych	59
6.5.	Łączenie podsieci	59
6.6.	Uczenie sieci przekonań	60
6.6.1.	Źródła wiedzy	60
6.6.2.	Przykłady uczące	61
6.6.3.	Tablice prawdopodobieństw warunkowych	62
Rozdział 7. Zastosowanie modelu łożyskowania wałów maszynowych		63
7.1.	Dane wejściowe	63
7.2.	Analiza otrzymanych wyników	65
7.3.	Podsumowanie	67
7.4.	Analiza topologii sieci przekonań	70
7.4.1.	Zależność węzłów sieci przekonań	70
7.4.2.	Rozmiar tablicy CPT	70
Rozdział 8. System doradczy oparty na sieci przekonań		73
8.1.	Opis systemu BearingHelper	73
8.1.1.	Dialog z użytkownikiem	74
8.1.2.	Proces wnioskowania	74
8.1.3.	Wybór preferowanych rozwiązań	75
8.1.4.	Obliczenia	76

8.1.5. Generowanie modeli geometrycznych.....	76
8.2. Podsumowanie.....	77
Rozdział 9. Podsumowanie i wnioski	79
9.1. Podsumowanie.....	79
9.2. Wnioski	80
Streszczenie	83
Bibliografia	85
Załączniki	93
Załącznik A	94
Załącznik B	97
Załącznik C	114

Rozdział 1

Wstęp

Zauważalny rozwój dostępnych technologii informatycznych, szczególnie pod koniec XX wieku, spowodował usprawnienie wielu dziedzin życia. Postęp ten obejmuje oferowany sprzęt komputerowy oraz instalowane na nim oprogramowanie.

Od wielu lat szereg ośrodków naukowych, jak również związanych bezpośrednio z przemysłem maszynowym, prowadzi badania mające na celu wypracowanie odpowiednich metod i technik umożliwiających usprawnienie procesu projektowo-konstrukcyjnego. Podniesienie jego jakości oraz skrócenie czasu realizacji poszczególnych etapów decyduje o pozycji firmy na rynku i przynoszonych zyskach. Coraz częściej zwraca się uwagę na fakt, iż wykorzystywana przez zespół projektantów wiedza stanowi niematerialny majątek przedsiębiorstwa.

Wspomaganie procesu projektowo-konstrukcyjnego, traktowanego jako działalność intelektualna kadry inżynierskiej, realizowane jest obecnie między innymi poprzez wykorzystanie metod i technik sztucznej inteligencji [81], [82], [84], [95], [99], [105], [109], które pozwalają na sformalizowaną reprezentację wiedzy oraz prowadzenie na jej podstawie procesu wnioskowania. Działania w tym zakresie spowodowały wprowadzenie pojęcia systemów inżynierskich opartych na wiedzy (ang. Knowledge Based Systems, KBS). Dzisiejsze aplikacje wspomagające projektowanie maszyn (ang. Computer Aided Design, CAD) to nie tylko narzędzia do tworzenia modeli geometrycznych i generowania dokumentacji konstrukcyjnej, ale również rozbudowane środowiska pracy zespołowej, umożliwiające zarządzanie realizacją poszczególnych etapów projektu [13], [91], [96], [107]. Systemy CAD wyposaża się w zaawansowane narzędzia programowe umożliwiające np. prowadzenie weryfikacji wirtualnej, wykonywanie obliczeń wytrzymałościowych, jak również integruje się je z systemami doradczymi. Podstawowym zamierzeniem integracji systemów wspomagających projektowanie maszyn z systemami doradczymi jest przede wszystkim wyręczenie projektanta w pracach o charakterze rutynowym, opartych na ściśle wytyczonych ścieżkach postępowania, umożliwiając tym samym rozwijanie i skupienie uwagi na działaniach o charakterze kreatywnym. Należy wyraźnie zaznaczyć, że proces realizacji działań projektowo-konstrukcyjnych ma najczęściej charakter przybliżony i niejednoznaczny, co wynika między innymi ze sposobu rozumowania i podejmowania decyzji przez człowieka (projektanta).

Obecnie większość stosowanych rozwiązań systemów KBS, w przypadku projektowania i konstruowania maszyn, opiera się na zapisie wiedzy w sposób dokładny. W przeważającej większości wykorzystuje się regułowe bazy wiedzy. Sytuacja taka wynika z faktu, że reguły stanowią naturalną formę reprezentacji wiedzy, są stosunkowo łatwe w interpretacji nawet dla osób nieposiadających szczególnego doświadczenia w budowie tego typu systemów.

W przypadku budowy aplikacji opartych na wiedzy o charakterze przybliżonym i niedokładnym, stopień trudności ulega znacznemu podwyższeniu. Związane jest to z koniecznością zwiększenia czasu potrzebnego na zdefiniowanie takiego systemu, wymaganym szczegółowym rozpatrzeniem określonej dziedziny zastosowania, jak również z szeregiem problemów, np. zapewnieniem jednoznaczności interpretacji zapisanej wiedzy oraz otrzymanych wyników procesu wnioskowania.

Zaproponowane przez Prof. W. Cholewę rozwiązanie polegające na zastosowaniu sieci przekonań do reprezentowania wiedzy przybliżonej w dziedzinie diagnostyki procesów, skłoniły autora do podjęcia badań mających na celu określenie przydatności takiego rozwiązania do wspomagania procesu projektowo-konstrukcyjnego maszyn.

1.1. Cel rozprawy

Głównym celem rozprawy jest zbadanie możliwości zastosowania sieci przekonań w procesie pozyskiwania, gromadzenia i stosowania wiedzy inżynierskiej wspomagającej projektowanie i konstruowanie maszyn.

Badania objęły budowę systemu doradczego opartego na sieci przekonań, jak również jego integrację z wybranym systemem komputerowego wspomagania projektowania.

Celem użytecznym podjętych badań jest usprawnienie procesu projektowo-konstrukcyjnego maszyn poprzez dostarczenie narzędzia umożliwiającego reprezentację niejednoznaczności i niepewności towarzyszących projektantowi podczas realizacji określonych zadań.

1.2. Tezy

Sformułowano następujące tezy pracy:

1. Sieci przekonań pozwalają na sformalizowane pozyskiwanie, gromadzenie i stosowanie wiedzy inżynierskiej dla potrzeb projektowania i konstruowania maszyn.
2. Istnieje możliwość integracji systemu doradczego opartego na sieciach przekonań z systemem komputerowego wspomagania projektowania.

1.3. Zakres rozprawy

Rozprawa została podzielona na 9 rozdziałów, obejmujących następujące zagadnienia:

- Rozdział 1. - Ogólny opis przedmiotu i celu podjętych badań. Sformułowanie tez i zakresu rozprawy.
- Rozdział 2. - Wiedza inżynierska w procesie projektowania i konstruowania maszyn. Charakterystyka procesu projektowo-konstrukcyjnego, poszczególnych jego elementów w ujęciu procesu intelektualnego. Zwrócenie uwagi na różnorodność źródeł wiedzy stanowiących podstawę działalności projektanta. Przegląd metod pozyskiwania wiedzy inżynierskiej. Analiza metod umożliwiających zapis i stosowanie wiedzy inżynierskiej w procesie projektowo-konstrukcyjnym. Przedstawienie podstawowych zadań systemów opartych na wiedzy, integracja z systemami komputerowo wspomaganego projektowania. Rozdział zakończono podsumowaniem, w którym omówiono wybrane aspekty związane z przedstawionymi zagadnieniami stanowiącymi potwierdzenie przyjętego przez autora kierunku badań.
- Rozdział 3. - Opis i budowa sieci przekonań, wykorzystywany aparat matematyczny metody, model Bayesa, zastosowania w dziedzinie projektowania i konstruowania maszyn.
- Rozdział 4. - Podsumowanie zagadnień przedstawionych w rozdziałach 2. i 3. Sformułowanie problemu badawczego stanowiącego przedmiot niniejszej rozprawy. Opracowanie planu badań zawierającego informacje o poszczególnych etapach realizacji podjętych prac.
- Rozdział 5. - Przedstawienie rozwiązania opartego na wykorzystaniu sieci przekonań do pozyskiwania, gromadzenia i stosowania wiedzy inżynierskiej. Prezentacja sposobu opisu zadania projektowego za pomocą modelu projektowanego obiektu, zgodnie z opracowaną metodologią postępowania. Omówienie wybranych aspektów związanych z pozyskiwaniem wiedzy pochodzącej z różnych źródeł. Interpretacja reprezentowanego przez sieć modelu projektowanego obiektu, w tym wyznaczenie zbioru cech oraz ich wartości, wykorzystanych do budowy sieci przekonań. Przedstawienie procesu uczenia sieci przekonań na bazie przykładów pozyskanych od specjalistów. Omówienie możliwości integracji systemów opartych na sieci przekonań z systemem komputerowego wspomaganie projektowania.
- Rozdział 6. - Opis zastosowania przedstawionej koncepcji, stanowiącej treść rozdziału 5., na przykładzie zadania związanego z procesem projektowo-konstrukcyjnym wężów łożyskowych wałów maszynowych. W rozdziale zawarto szczegółowy opis etapów budowy modelu za pomocą sieci przekonań. Zwrócono szczególną uwagę na wyznaczenie grupy czynników decydujących o wyborze konkretnego rozwiązania oraz elementy sieci przekonań. Przedstawiono proces uczenia sieci na bazie przykładów pozyskanych z danych literaturowych oraz wywiadów ze specjalistami.
- Rozdział 7. - Zastosowanie opracowanego modelu projektowanego obiektu (łożyskowania wałów maszynowych) dla przykładowych danych wejściowych. Interpretacja otrzymanych wyników procesu wnioskowania.

- Rozdział 8. - Przedstawienie opracowanego systemu doradczego BearingHelper bazującego na wykonanym modelu projektowanego obiektu, działającego w systemie CATIA, który umożliwia wspomaganie procesu projektowo-konstrukcyjnego węzłów łożyskowych wałów.
- Rozdział 9. - Podsumowanie i wnioski odnoszące się do przeprowadzonych badań oraz postawionych tez rozprawy.

Rozdział 2

Wiedza w procesie projektowania i konstruowania maszyn

Posługując się definicją słownikową [102] pojęcie *wiedzy* określić można jako "ogół wiadomości zdobytych dzięki uczeniu się; zasób wiadomości z jakiejś dziedziny". Rozwinięciem powyższej definicji może być stwierdzenie, iż wiedzę stanowi zbiór prawd, rozwiązań, schematów, określonych ograniczeń, reguł postępowania [83] itd.

Realizacja procesu projektowo-konstrukcyjnego związana jest z podejmowaniem decyzji w oparciu o posiadaną przez projektanta wiedzę subiektywną, ogólnie przyjęte normatywy, jak również źródła i wpływy zewnętrzne. Zastosowanie specjalizowanego oprogramowania wspomagającego pozwala na usprawnienie realizacji określonych zadań oraz zwiększenie pewności, że analizowany przez nas obiekt będzie odznaczał się żądanymi parametrami eksploatacyjnymi.

Głównym celem działalności projektowo-konstrukcyjnej jest poszukiwanie nowego, optymalnego, w świetle przyjętych kryteriów, rozwiązania określonego środka technicznego zaspakajającego zidentyfikowaną grupę potrzeb. Liczba uwzględnianych czynników wpływających na otrzymane rozwiązanie jest uzależniona od wiedzy posiadanej przez projektanta. Na ogół liczebność zbioru analizowanych kryteriów jest duża i uzależniona od stopnia złożoności i odpowiedzialności projektowanego obiektu. Projektant w głównej mierze opiera się na posiadanej wiedzy, która została zdobyta w procesie kształcenia, zdobytym doświadczeniu zawodowym jak również posługuje się zaleceniami i informacjami zawartymi w literaturze fachowej.

Modelowanie wiedzy inżynierskiej, zarządzanie gromadzonymi zasobami oraz budowa aplikacji opartych na wiedzy stanowi od wielu lat przedmiot badań licznej grupy ośrodków naukowych w Polsce i zagranicą. Przykładami takich przedsięwzięć są między innymi projekty:

- KADS (ang. Knowledge Based Analysis and Design Support) - celem projektu było opracowanie metodologii pozwalającej na przewyciężenie trudności towarzyszących budowie systemów opartych na wiedzy. Dostrzeżono, iż przyjęcie jednej określonej metody zapisu wiedzy, powoduje często pominięcie wiedzy, która nie może być zapisana w wymagany przez system sposób. Do przewyciężenia opisanych ograniczeń zastosowano szablony składające się z trzech warstw: *dolnej* zawierającej opis dziedziny oraz relacje pomiędzy jej poszczególnymi składnikami, *środkową* opisującą strategię przeszukiwania oraz *górną* określającą strategię dotyczące realizacji złożonych zadań. Dodatkowo opracowano grupę modeli umożliwiającą przekształcenie wiedzy nieformalnej do postaci akceptowalnej przez system KBS [41].

- agencja DARPA (ang. Defense Research Projects Agency) - wynikiem badań było między innymi opracowanie standardu KIF (ang. Knowledge Interchange Format), pozwalającego na stworzenie uniwersalnej magistrali wymiany wiedzy pomiędzy różnymi systemami stosującymi odmienne metody jej reprezentacji. Standard KIF nie stanowi metody reprezentacji wiedzy, taka możliwość została wprowadzona w rozszerzeniu wspomnianego standardu znanego obecnie jako *Ontolingua* [22], pozwalającego na formalną reprezentację wiedzy w sposób deklaratywny według określonego słownika pojęć (przestrzeni nazw) opisującego wybraną dziedzinę. Podstawowy celem stosowania ontologii jest opis klas obiektów, ich właściwości oraz przede wszystkim relacji pomiędzy nimi.
- MOKA (ang. Methodology and tools Oriented to Knowledge based engineering Applications) - zamierzeniem projektu było zredukowanie czasu potrzebnego na zaprojektowanie i wdrożenie systemów opartych na wiedzy do zastosowań inżynierskich. Dokonano wyznaczenia sześciu etapów budowy systemów opartych na wiedzy, mianowicie: *identyfikacja* (ang. identify), *tłumaczenie* (ang. justify), *uchwycenie* (ang. capture), *formalizacja* (ang. formalize), *implementacja* (ang. package) i *uruchomienie* (ang. activate) [83]. Wprowadzono podział wiedzy na wiedzę *nieformalną* i *formalną*. W przypadku wiedzy nieformalnej wyznaczono 5 typów opisanych odpowiednimi szablonami (*ilustracje, ograniczenia, aktywności, reguły, obiekty*). Wiedza formalna bazuje na konwersji wiedzy zawartej w szablonach do postaci języka UML (ang. Unified Modelling Language) [68]. Wynikowo zdefiniowano dwa modele formalne mianowicie model produktu oraz model procesu [97].

Wiedza projektowo-konstrukcyjna ulega ciągłej modyfikacji, jest systematycznie powiększana, przestrzeń rozwiązań środków technicznych (technosfera [27]) staje się coraz większa. Udoskonaleniu podlegają metody oraz algorytmy pozwalające na sformalizowane wspomaganie poszukiwania rozwiązania określonego zadania. Przyjęte tempo rozwoju wspomnianych metod ma jednak charakter długoterminowy.

2.1. Proces projektowania i konstruowania

Projektowanie i konstruowanie stanowią integralną część procesu zaspokajania potrzeby, którego poszczególne etapy przedstawia rys.2.1.

Wynikiem procesu *projektowania* jest określenie sposobu działania środka technicznego, natomiast celem *konstruowania* jest wyznaczenie zbioru cech konstrukcyjnych, do których należą cechy tworzywowe, geometryczne i dynamiczne [27].

Zgodnie z [78] wyróżnić można trzy zasadnicze typy konstrukcji:

- konstrukcja nowa - powstaje na bazie nowego rozwiązania technicznego opracowanego dla systemu, którego zadania mogą podlegać modyfikacji lub zostać opracowane na nowo;
- konstrukcja zaadoptowana - w głównej mierze powstaje jako modyfikacja znanego systemu, której celem jest dostosowanie do nowych problemów; zasada rozwiązania technicznego nie ulega zmianie, modyfikacji podlegają wyłącznie wybrane podzespoły lub elementy;

- konstrukcja wielowariantowa - obejmuje proces wyznaczenia wariantów wielkości i ich uporządkowanie w granicach systemów. Funkcje i zasada rozwiązania środka technicznego nie ulegają zmianie.



Rys. 2.1. Elementy procesu zaspokajania potrzeb [27]

Zakres działań realizowany przez projektanta, tok postępowania jak również stopień trudności zależy w głównej mierze od charakteru procesu projektowego. Pod względem nakładu czasu i stopnia złożoności procesu intelektualnego, projektowanie można podzielić na (wg [78]):

- rutynowe,
- innowacyjne,
- kreatywne.

W przypadku *projektowania rutynowego* przyjmuje się, iż zmienne projektowe i ich zakresy są niezmiennie. W głównej mierze jako proces rutynowy uznaje się projektowanie opierające się o ściśle wytyczone i sprawdzone ścieżki postępowania. *Projektowanie innowacyjne* odnosi się do działań mających na celu modyfikację istniejącego rozwiązania, zestaw zmiennych projektowych jest stały natomiast ich zakresy ulegają zmianie. Natomiast *projektowanie kreatywne* wiąże się poszukiwaniem nowego rozwiązania, dla którego zestaw zmiennych i ich zakresy są zmienne [18].

Biorąc pod uwagę przedstawione typy procesu projektowego można wysunąć wniosek, iż w przypadku projektowania rutynowego przestrzeń poszukiwanych rozwiązań jest ściśle określona, sposób postępowania jest na ogół znany projektantowi. Natomiast w przypadku projektowania o charakterze nierutynowym (innowacyjnym i kreatywnym) przestrzeń możliwych rozwiązań ulega znacznemu rozszerzeniu [78]. Prowadzone badania w zakresie projektowania i konstruowania wykazały, iż blisko 80% czasu potrzebnego na realizację projektu przeznaczony jest na działania o charakterze rutynowym [68], [84]. Mając na uwadze możliwość wprowadzenia automatyzacji procesów uznanych za rutynowe podjęto szerokie działania w tym zakresie.

Proces projektowo-konstrukcyjny można również interpretować jako działalność mająca na celu wyznaczenie określonego zbioru rozwiązań projektowych. Każde z rozwiązań można zidentyfikować za pomocą wyznaczonej grupy cech oraz odpowiadającym im zbiorom wartości.

Istotnym czynnikiem, którym winien również być brany pod uwagę, to relacje pomiędzy rozpatrywanymi cechami i przyjmowanymi przez nie wartościami. Specyfika procesu projektowo-konstrukcyjnego powoduje, iż dla ściśle określonych wymagań (na ogół niezmiennych) możemy uzyskać dużą liczbę wariantów rozwiązań. Taka sytuacja prowadzi do powstania *niejednoznaczności*.

Metodologia projektowania i konstruowania podlega ciągłemu rozwojowi dopasowując się do wymagań i warunków pracy współczesnego projektanta. Prowadzone badania przy współpracy grupy psychologów [2], [30], [106], pokazują że klasyczne podejście do procesu projektowo-konstrukcyjnego [78], okazuje się niewystarczające. Istnieje wyraźna potrzeba uwzględnienia czynników związanych z występującymi ograniczeniami czasowymi i finansowymi, wysiłkiem intelektualnym projektanta, grupowym charakterem działalności projektowej itd.

Badania prowadzone w grupie projektantów pokazują, że wynikowa przestrzeń wyznaczonych rozwiązań nie jest zwykle liczna. Najczęściej określa się jedno rozwiązanie, które uznano za dopuszczalne oraz pewien ograniczony zbiór rozwiązań alternatywnych. Często dochodzi do sytuacji, w której rozwiązania alternatywne nie są generowane i rozpatrywane.

Sposób rozumowania projektanta, brak wyczerpującej wiedzy z określonej dziedziny czy też brak możliwości nieuwzględnienia wszystkich aspektów związanych z rozpatrywanym problemem powoduje, że projektowanie i konstruowanie posiada najczęściej charakter *przybliżony*. Powyższe stwierdzenie dotyczy również procesów uznanych za rutynowe, bazujących na ściśle określonych ścieżkach postępowania.

2.2. Reprezentacja wiedzy inżynierskiej

Zagadnienia związane z metodami reprezentacji wiedzy stanowią przedmiot licznych pozycji literaturowych np. [14], [16], [17], [54], [57], [66], [79], [85]. Głównym celem reprezentacji wiedzy jest określenie formalizmu pozyskiwania, gromadzenia i stosowania wiedzy. Szczególnie wymagania dotyczą zapewnienia nie występowania elementów domyślnych i wieloznacznych [18].

Zasadniczo wyróżnić można dwa podstawowe sposoby symbolicznej reprezentacji wiedzy [17]:

- reprezentację proceduralną,
- reprezentację deklaratywną.

Reprezentacja proceduralna polega na określeniu zbioru procedur, których działanie reprezentuje wiedzę o danej dziedzinie. W przypadku reprezentacji deklaratywnej, określany jest zbiór specyficzny dla danej dziedziny, faktów i reguł [17].

Reprezentacja proceduralna odznacza się bardzo dużą efektywnością. Natomiast główną zaletą reprezentacji deklaratywnej jest prostsza formalizacja i brak konieczności wielokrotnego zapisu reguł.

W procesie projektowo-konstrukcyjnym stosowane są następujące środki reprezentacji wiedzy: *sieci stwierdzeń*, *reguły* [3], [65], *reguły rozmyte*, *tablice decyzyjne* [111], *ramy*, *obiekty* [50], [76], *sieci neuronalne* [113], *hipertekst* [94].

Przedstawione metody reprezentacji wiedzy nie występują w większości przypadków osobno. Na ich podstawie tworzy się wiele technik mieszanych (hybrydowych). Wybór odpowiedniej metody reprezentacji wiedzy powinien uwzględniać określone kryteria, związane z: rodzajem wiedzy zapewniającej prawidłowe działanie systemu doradczego, rodzajem dziedziny zastosowania, przewidywanym rozmiarem budowanej bazy wiedzy oraz możliwościami sprzętowymi [17].

Stosowany sposób reprezentacji wiedzy uzależniony jest również od dziedziny zastosowania i tak dotyczyć może: procesu projektowego, projektowanego obiektu, procesu wytwarzania, eksploatacji, wymagań użytkownika itd. Jak pokazuje praktyka najczęściej stosowanym podejściem w dziedzinie projektowania i konstruowania jest zorientowanie na projektowany obiekt, czego przykładami są badania opisane w [3], [52], [113].

W przypadku reprezentacji grupy rozwiązań środka technicznego naturalnym podejściem staje się zastosowanie stwierdzeń umożliwiających bezpośrednią reprezentację cech ilościowych i jakościowych projektowanego obiektu. W zastosowaniach praktycznych operowanie na wartościach lingwistycznych znacznie ułatwia proces komunikowania się użytkownika z systemem doradczym.

Modelowanie wiedzy projektowej, którego celem jest budowa baz wiedzy projektowej opiera się o zastosowanie modeli produktu oraz modeli procesu.

2.2.1. Model produktu

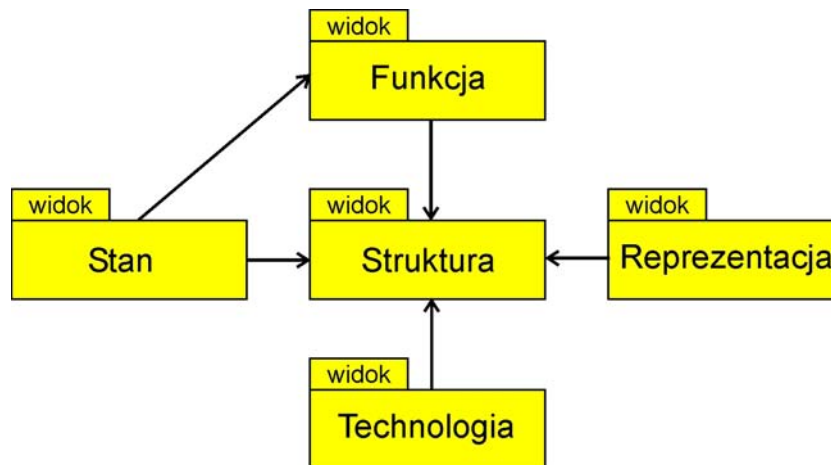
Model produktu [5], [35], [26], reprezentuje wiedzę związaną z rozpatrywanym obiektem, obejmującą poszczególne etapy jego życia począwszy od procesu projektowania, wytwarzania, eksploatacji aż po jego utylizację.

Zakres wiedzy reprezentowanej przez model produktu wyznacza liczba zdefiniowanych *widoków*. Widoki charakteryzują określony kontekst, w którym rozpatruje się model. W literaturze najczęściej proponuje się widoki [68]:

- struktura,
- funkcja,
- stan,
- technologia,
- reprezentacja.

W przypadku widoku *struktura* dokonywany jest podział produktu na zespoły, elementy i cechy. Podział ten może odnosić się do modelu fizycznego jak i również modelu logicznego. Widok *funkcja* rozpatruje i definiuje zbiór cech funkcjonalnych pełnionych przez określone składniki modelu. Zmiany stanu produktu (np. z *dostarczona* na *użyto*) określa widok *stan*. Informacje związane z cechami tworzywowymi jak również elementami procesu wytwarzania ujęty jest w widoku *technologia*. Ostatni z proponowanych widoków *reprezentacja* obejmuje postać geometryczną produktu. Liczba analizowanych *widoków* może ulec rozszerzeniu w zależności od potrzeb określonej dziedziny zastosowania.

W wielu przykładach stosowania modeli produktów za rdzeń takiego modelu przyjmuje się model struktury. W normie STEP (ang. STandard for the Exchange of Product Model Data)



Rys. 2.2. Relacje pomiędzy *widokami* na model produktu [63]

[36], [12], [31] zawarto informacje na temat zaleceń dotyczących struktury tworzonych modeli informacyjnych. Do opisu danych o produkcie wprowadzono język Express. Opis struktury modelu opiera się na podejściu obiektowym, dla którego zdefiniowano odpowiednie biblioteki klas pozwalające na identyfikację produktu, określenie struktury i postaci oraz wielu innych informacji niezbędnych do budowy takich modeli.

Ważnym elementem modelu produktu jest opis więzów definiujący pewne ograniczenie narzucone na składniki modelu. Przykładem takich więzów są zależności pomiędzy wartościami cech geometrycznych współpracujących ze sobą elementów.

Jak pokazuje praktyka najczęściej obiekty reprezentowane są za pomocą zbioru par <cecha; wartość cechy>. Obiekty należące do tej samej rodziny konstrukcji różnią się jedynie wartościami cech. Relacje zachodzące pomiędzy poszczególnymi cechami obiektu definiują określone więzy.

2.2.2. Model procesu projektowego

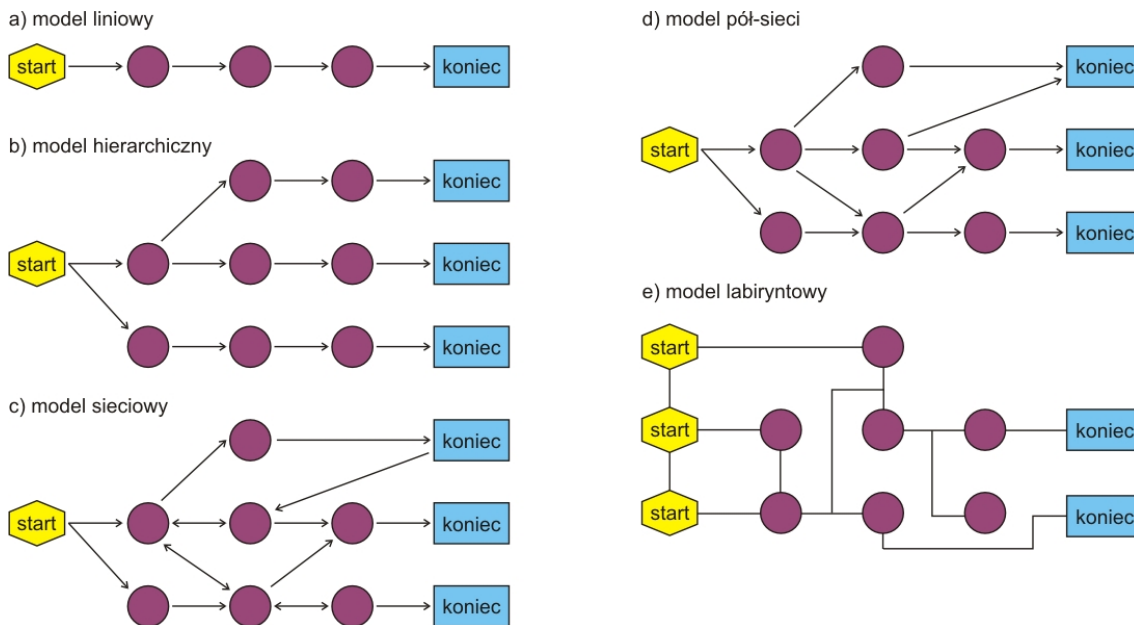
Od wielu lat prowadzone są badania mające na celu budowę modeli procesu projektowego np. [1], [103]. Stosowane są różne podejścia dotyczące struktury modelu, wymagań związanych z iteracyjnym charakterem procesu oraz czynnikami, które wynikają ze zmian zachodzących w metodologii projektowania i konstruowania maszyn.

Analizując strukturę modelu procesu projektowego wyróżnić możemy model [4], [18]: *liniowy*, *hierarchiczny*, *sieciowy*, *pół-sieci* oraz *labiryntowy*.

W przypadku modelu *liniowego* (rys.2.3a) zakłada się, że poszczególne jego etapy wykonywane są w sposób sekwencyjny jeden po drugim. Ze względu na swe ograniczenia podejście takie stosowane jest najczęściej we wstępnej fazie projektowania. Modele liniowe stosowane są przede wszystkim podczas prac o charakterze rutynowym, opartym o ściśle wytyczone ścieżki postępowania.

Model *hierarchiczny* (rys.2.3b) stanowi połączenie grupy modeli liniowych, pozwalając tym samym na reprezentację rozwiązań alternatywnych. Takie podejście umożliwia prowadzenie procesu dekompozycji złożonego procesu.

Model *sieciowy* (rys.2.3c) pozwala na pewną dowolność realizacji poszczególnych etapów



Rys. 2.3. Modele procesu projektowego [4]

procesu projektowania. Nie określa kolejności realizacji poszczególnych jego etapów. W każdej chwili można dokonać powrotu do etapu poprzedzającego.

Połączeniem modelu hierarchicznego i modelu sieciowego jest model *pół-sieci* (rys.2.3d). W przeciwieństwie do modelu sieciowego nie pozwala na cofanie się do kroku poprzedniego. Tak jak w przypadku modelu hierarchicznego pozwala na reprezentację alternatywnych dróg postępowania.

Zastosowanie modelu *labiryntowego* (rys.2.3e) pozwala na reprezentację wielu alternatywnych dróg postępowania. Nie narzuca kolejności sekwencji wykonywanych działań. Wspomaga tym samym proces twórczy, pozwalając na pełną dowolność realizacji procesu projektowego i działań o charakterze kreatywnym.

2.2.3. Reprezentacja wiedzy przybliżonej i niedokładnej

Jak dotąd nie została wypracowana uniwersalna i ogólnie przyjęta metoda wnioskowania przybliżonego. Głównym powodem takiej sytuacji jest niejednoznaczność w określaniu sposobu interpretacji stosowanych stopni pewności [44].

Źródłem rozważanej niepewności i niejednoznaczności jest między innymi:

- brak możliwości formalnego opisu podejmowanych przez człowieka decyzji,
- sprzeczność opinii grupy specjalistów,
- bazowanie na niedokładnych i niepewnych danych,
- losowość reprezentowanych zdarzeń,
- niekompletność posiadanego zbioru danych,
- brak odpowiedniej wiedzy.

W chwili obecnej stosowane są różne sposoby umożliwiające opis wiedzy przybliżonej i niedokładnej, do których należą:

- dokładne reguły i przybliżone przesłanki,
- przybliżone reguły i dokładne przesłanki,
- przybliżone reguły i przybliżone przesłanki.

Postać stwierdzenia i reguły przybliżonej przedstawia się następująco:

$$\langle \text{Obiekt, Nazwa cechy, Wartość cechy, CF} \rangle \quad (2.1)$$

$$\text{IF przesłanka THEN konkluzja (działanie) CF} \quad (2.2)$$

gdzie:

- CF (ang. Certainty Factor) - współczynnik przekonania (pewności) o prawdziwości stwierdzenia lub reguły,

Przesłanki reguły mogą zawierać wyrażenia proste lub złożone połączone funktorami logicznymi (AND lub OR). Wyrażenia proste mogą być reprezentowane również za pomocą stwierdzeń przybliżonych (rów.2.1). Konkluzja reguły reprezentowana jest za pomocą pojedynczego stwierdzenia.

Odmiennym, od przedstawionych powyżej, sposobem reprezentacji wiedzy niedokładnej jest zastosowanie logiki rozmytej, dla której stwierdzenia traktowane są jako wartości rozmyte, natomiast reguły jako relacje rozmyte [40].

2.3. Źródła wiedzy inżynierskiej

Wiedza wykorzystywana w procesie projektowo-konstrukcyjnym pochodzi z wielu różnorodnych źródeł. Potencjalne źródła wiedzy wykorzystywane przez projektanta, stanowią [18]:

- literatura fachowa,
- normy i katalogi,
- zalecenia branżowe,
- proces edukacji oraz zdobyte doświadczenie zawodowe,
- osobiste notatki projektanta,
- dokumentacja konstrukcyjna, szkice, rysunki przedstawiające wcześniej zrealizowane projekty,
- historia tworzenia modelu geometrycznego,
- informacje o wcześniej realizowanych projektach,
- wyniki badań symulacyjnych,
- protokoły z porad,

- proces eksploatacji obiektu,
- uwagi użytkowników,
- itd.

Różnorodność źródeł wiedzy powoduje niejednokrotnie kłopoty z ich interpretacją. Osobiste notatki bez dodatkowych objaśnień projektanta będą na ogół niezrozumiałe dla innych użytkowników. Podczas realizacji projektu wiedza wykorzystana do podjęcia określonych decyzji jest najczęściej nie zapisywana. Podobna sytuacja zachodzi w przypadku rejestrowania informacji związanych z nieudanymi próbami zastosowania określonych rozwiązań.

W wielu przypadkach uwzględnienie wszystkich źródeł wiedzy nie jest możliwe lub wręcz niewskazane. Nadmierna liczba rozpatrywanych czynników może być przyczyną szumów informacyjnych oraz może spowodować wydłużenie czasu realizacji zadań. Widać wyraźnie, iż istnieje potrzeba pewnej selekcji wiedzy wymaganej na danym etapie realizacji projektu.

W literaturze istnieje wiele propozycji podziału źródeł wiedzy. Mając na uwadze zastosowania praktyczne, w szczególności wymagania stawiane przez projektantów, najczęściej podział źródeł wiedzy odnosi się do tematyki czy też charakteru wykonywanych czynności.

2.4. Pozyskiwanie wiedzy

Proces pozyskiwania wiedzy, zwany również akwizycją wiedzy, stanowi kolejny po etapie identyfikacji dziedziny zainteresowania etap budowy systemów opartych na wiedzy. Jego podstawowym celem jest pozyskanie wiedzy z określonych źródeł, a następnie zapisanie jej w bazie wiedzy zgodnie z określoną metodą reprezentacji wiedzy.

Dokonując pewnego usystematyzowania można stwierdzić, iż głównymi etapami procesu pozyskiwania wiedzy są [64]:

- określenie obszaru zainteresowania,
- identyfikacja i pozyskanie źródeł wiedzy,
- określenie sposobu reprezentacji wiedzy,
- identyfikacja wiedzy ogólnej (wstępnej),
- weryfikacja wstępnej wersji bazy wiedzy,
- pozyskiwanie wiedzy szczegółowej i rozbudowa bazy wiedzy,
- weryfikacja i usunięcie błędów bazy wiedzy,
- walidacja bazy wiedzy i przekazanie do eksploatacji.

Należy zaznaczyć, iż proces pozyskiwania wiedzy stanowi kluczową rolę i wpływa wynikowo na efektywność i działanie budowanego systemu opartego na wiedzy. Omawiany proces realizowany jest przez inżyniera wiedzy, od którego wymaga się pewnej elastyczności i umiejętności zagłębienia się w dziedzinę, dla której budowany jest system doradczy.

Dokonując ogólnego podziału metod pozyskiwania wiedzy możemy wyróżnić [64]:

- pozyskiwanie wiedzy od specjalistów (projektantów),
- automatyczne metody pozyskiwania wiedzy.

2.4.1. Pozyskiwanie wiedzy od specjalistów

Pozyskiwanie wiedzy od specjalistów może być realizowane poprzez bezpośrednią współpracę specjalisty z inżynierem wiedzy, jak również bez jego uczestnictwa. W tym przypadku wykorzystywane są narzędzia programowe prowadzące dialog ze specjalistą [67].

Prowadzenie procesu pozyskiwania wiedzy od specjalistów wspierane jest wykorzystaniem szeregu technik, do których należą: wywiady, kwestionariusze, wykłady prowadzone przez specjalistów itd.

W przypadku pozyskiwania wiedzy od specjalistów zasadniczym problemem jest bariera wynikająca z niechęci udostępniania wiedzy opartej na wieloletnim doświadczeniu, która stanowi o wartości określonego projektanta. Istnieje również pewien czynnik, który można określić mianem intuicji projektanta do rozwiązywania określonych problemów konstrukcyjnych, która jest praktycznie niemożliwa do pozyskania.

2.4.2. Metody automatycznego pozyskiwania wiedzy

Metody automatycznego pozyskiwania wiedzy pozwalają na znaczące przyspieszenie procesu akwizycji wiedzy w porównaniu do metody opisaney w rozdziale 2.4.1.

W zakresie automatycznego pozyskiwania wiedzy projektowej zasadniczą rolę odgrywają:

- uczenie maszynowe,
- case-based reasoning.

W przypadku uczenia maszynowego mamy na ogół do czynienia z procesem generowania reguł w oparciu o zbiory przykładów uczących. Zbiory danych uczących przygotowane są na podstawie zidentyfikowanych źródeł stanowiących zasoby zawierające wiedzę lub pozwalające na uzyskanie wiedzy z rozpatrywanej dziedziny.

Metoda case-based reasoning [53], [84] polega na poszukiwaniu rozwiązania bieżącego zadania projektowego, w oparciu o analizę wcześniej zrealizowanych projektów. Z formalnego punktu widzenia Case-Based Reasoning jest metodą wnioskowania. Jednakże dysponowanie taką metodą pozwala na prowadzenie procesu pozyskiwania wiedzy polegające na gromadzeniu odpowiednich przykładów. Doszukując się podobieństwa określana jest droga postępowania, która w poprzednim przypadku doprowadziła do pozytywnego rozwiązania określonego problemu. W tym przypadku potrzebne jest utworzenie odpowiedniego repozytorium, w którym gromadzone są wszelkie dokumenty pomocne przy realizacji projektów wraz z możliwością zapisu dodatkowych informacji stanowiących objaśnienia do podjętych decyzji. Przy tworzeniu tego typu systemów dąży się do wypracowania pewnych wzorcowych rozwiązań dotyczących określonego typu zagadnień projektowych.

2.5. Systemy doradcze w projektowaniu maszyn

Systemy doradcze stanowią wyspecjalizowaną klasę aplikacji przeznaczonych do wspierania procesu podejmowania decyzji podczas rozwiązywania problemów związanych z określoną dziedziną. Dostarczane użytkownikowi informacje stanowią wynik procesu wnioskowania prowadzonego w oparciu o wiedzę zawartą w bazie wiedzy systemu doradczego zgodnie z określonym mechanizmem wnioskowania [11], [17], [33], [51].

2.5.1. Zastosowanie

Obecnie zakres zastosowania systemów doradczych w procesie projektowo-konstrukcyjnym jest bardzo szeroki [86]. Należy jednak podkreślić, iż w głównej mierze zastosowanie systemów doradczych dotyczy przede wszystkim procesu konstruowania. Taki stan rzeczy związany jest z wysokim stopniem trudności procesu projektowania.

Skuteczność i przydatność systemów doradczych została potwierdzona przede wszystkim podczas działalności o charakterze rutynowym. Sytuacja taka wynika z możliwości określenia toku postępowania podczas rozwiązywania znanych problemów konstrukcyjnych. Dostarczane przez system doradczy informacje bazują przede wszystkim na wypracowanych procedurach i algorytmach opartych na wcześniej stosowanych ścieżkach postępowania. W przypadku prac o charakterze kreatywnym zadanie ulega znacznej komplikacji, a nawet może nie być możliwe do zrealizowania. W tym przypadku proces o charakterze kreatywnym dzieli się na podzadania, które mogą zostać uznane za działania o charakterze rutynowym.

W dziedzinie projektowania i konstruowania maszyn istnieje wiele przykładów pomyślnych rozwiązań systemów opartych na wiedzy, poczynając od zagadnień konstruowania prostych elementów po złożone struktury np. [3], [19], [43], [52], [58], [89].

2.5.2. Integracja systemów doradczych z systemami CAD

Podstawowym narzędziem działalności projektanta są przede wszystkim systemy komputerowego wspomaganie projektowania (ang. Computer Aided Design, CAD). Istniejąca od wielu lat tendencja do tworzenia zintegrowanych środowisk działalności projektantów [70] spowodowała konieczność łączenia aplikacji różnego typu (np. obliczenia MES, bazy danych itd.) z systemami CAD. Taki stan rzeczy dotyczy również systemów doradczych, które powinny nadzorować, rejestrować oraz wspomagać proces podejmowania decyzji projektanta [10], [75], [110].

Integracja systemów CAD z systemami doradczymi wiąże się z szeregiem trudności, do których należy przede wszystkim różnica w strukturze danych potrzebnych do prawidłowego działania integrowanych aplikacji. Do przewyciężenia omawianej trudności stosuje się między innymi technologię *tablicy ogłoszeń* [9], [21], [28], [83], jak również zaawansowane systemy CAD wyposaża się w narzędzia umożliwiające budowę systemów opartych na wiedzy.

Jednym z nielicznych systemów CAD/CAE/CAM posiadających odpowiednie moduły narzędziowe do tworzenia aplikacji opartych na wiedzy jest system CATIA V5 [24], [57]. Grupa *Knowledgeware* [25] systemu CATIA wyposażona jest w moduły narzędziowe: *Knowledge Advisor*, *Knowledge Expert*, *Product Knowledge Template*, które pozwalają między innymi na budowę regułowych baz wiedzy, definiowanie odpowiednich relacji i formuł pomiędzy wprowadzonymi zależnościami, a cechami geometrycznymi modelu, zarządzanie gromadzoną wiedzą. Najważniejszą zaletą takiego rozwiązania jest fakt, iż system doradczy działa bezpośrednio w środowisku programu CAD, nie wymaga dodatkowego oprogramowania. Niestety aplikacje o tak rozszerzonych możliwościach należą do rzadkości.

2.6. Podsumowanie

Przegląd stosowanych systemów doradczych w zakresie związanym z projektowaniem i konstruowaniem prowadzi do wniosku, iż klasyczne systemy doradcze są zastępowane przez systemy klasy *osobisty asystent projektanta* [6], [19], [87], [88], [98]. Oprogramowanie tego typu działa w ogólnej formie jako grupa aplikacji, których zadaniem jest nadzorowanie i rejestrowanie czynności wykonywanych przez projektanta. W momencie rozpoznania określonego problemu, na podstawie wiedzy zgromadzonej w bazie wiedzy systemu, wybrany asystent dostarcza użytkownikowi informacji umożliwiającej rozwiązanie bieżącego problemu określonego etapu realizacji prac. W systemach tego typu istnieje podział asystentów pod względem pełnionych przez nich funkcji. Dodatkowym zadaniem asystenta jest pozyskiwanie wiedzy od użytkownika [7], [47], [77].

Przeważająca większość baz wiedzy systemów klasy KBS wykorzystuje metody reprezentacji wiedzy pewnej i dokładnej. Jak pokazuje praktyka, istnieje jednak potrzeba wypracowania odpowiednich technik umożliwiających zapis wiedzy niejednoznacznej, przybliżonej. Na tym polu widoczne staje się zainteresowanie systemami bazującymi np. na regułach przybliżonych, czy też logice rozmytej. Takie podejście podnosi jednak znacząco stopień trudności budowy systemów tego typu. Sytuacja ta spowodowana jest między innymi wymaganym dużym nakładem pracy na zgłębienie dziedziny zastosowania [83]. Duży problem stanowi również zapewnienie wiarygodności otrzymywanych ekspertyz systemu doradczego.

Zauważalna staje się tendencja do tworzenia systemów hybrydowych wykorzystujących różne metody reprezentacji wiedzy inżynierskiej. Takie postępowanie ma na celu wykorzystanie zalet poszczególnych metod przy tworzeniu jednego spójnego systemu [69].

Przedstawione uwagi, a przede wszystkim fakt, iż do prawidłowego i pełnego zobrazowania procesu projektowo-konstrukcyjnego konieczne jest wykorzystanie metod reprezentacji wiedzy przybliżonej skłoniły autora na zwrócenie uwagi na zastosowanie sieci przekonania.

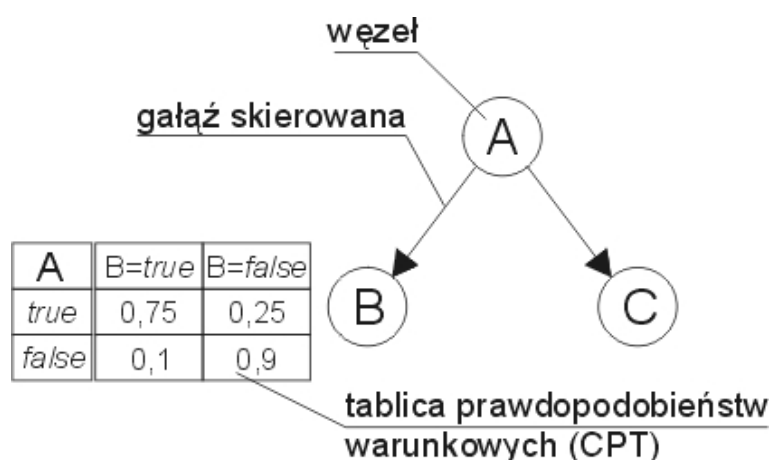
Rozdział 3

Sieć przekonań

Obecnie zauważa się bardzo duże zainteresowanie wykorzystaniem sieci przekonań w roli głównego składnika systemu doradczego [93]. Ich skuteczność i przydatność została potwierdzona przede wszystkim w dziedzinie diagnostyki medycznej [49], [72], diagnostyki procesów [42], [44], inteligentnych systemach szkolących [71] oraz popularnym asystencie pakietu Microsoft Office [62].

Idea sieci przekonań wywodzi się z połączenia metod statystycznych wnioskowania opartych o model Bayesa, teorię podejmowania decyzji oraz metod weryfikacji hipotez [23], [44].

Sieć przekonań (ang. *belief network*) [38], [39], zwana również siecią bayesowską (ang. *bayesian network*), jest acyklicznym grafem skierowanym. Podstawowymi jej elementami (rys.3.1) są węzły sieci oraz łączące je gałęzie skierowane.



Rys. 3.1. Główne elementy sieci przekonań

Każdy z węzłów sieci reprezentuje zestaw stwierdzeń oraz wektor wartości stopni przekonania o ich prawdziwości. Postępując się uporządkowaną trójką $\langle O, C, W \rangle$, gdzie O - nazwa obiektu, C - nazwa cechy oraz W - wartość cechy, zestaw stwierdzeń przykładowego węzła sieci przekonań przedstawia się następująco.

$$\begin{aligned} &\langle \text{"łożysko toczne"}, \text{"typ"}, \text{"kulkowe zwykłe"} \rangle \\ &\quad \langle \text{"łożysko toczne"}, \text{"typ"}, \text{"stożkowe"} \rangle \\ &\langle \text{"łożysko toczne"}, \text{"typ"}, \text{"baryłkowe dwurzędowe"} \rangle \end{aligned} \tag{3.1}$$

Dla pojedynczego węzła nazwa obiektu i nazwa cechy jest niezmienna, natomiast wartości

cech poszczególnych stwierdzeń są różne. Poszczególne wartości cech określane są również jako stany węzła. Zakłada się, iż stwierdzenia (stany) są niezależne oraz zestaw stwierdzeń jest kompletny.

Poszczególne gałęzie sieci łączące węzły reprezentują tablice prawdopodobieństw warunkowych (ang. *Conditional Probability Table*, CPT). Rozmiar tablicy CPT określa iloczyn kartezjański zestawu stwierdzeń połączonych węzłów sieci przekonań (rys.3.1).

Działanie sieci przekonań, i tym samym proces wnioskowania, polega na poszukiwaniu stanu równowagi sieci poprzez uzgadnianie prawdopodobieństw poszczególnych węzłów.

Jedną z właściwości sieci przekonań jest zdolność *agregacji*, rozumianej jako możliwość łączenia informacji pochodzących z różnych źródeł (węzłów wejściowych), mających wpływ na węzeł wyjściowy sieci, pozwalając tym samym na eliminację niezależnych szumów [42].

Inną ciekawą właściwością sieci przekonań jest możliwość modyfikacji topologii sieci (np. zmiana zwrotów gałęzi skierowanych), bez zmian związanych z jej działaniem.

3.1. Twierdzenie Bayesa

Działanie sieci przekonań bazuje na wnioskowaniu opartym o metody statystyczne, a ściślej mówiąc model Bayesa [39], [42], [44].

Przedstawienie twierdzenia Bayesa wymaga wprowadzenia pojęć:

- *prawdopodobieństwa łącznego* $P(A,B)$ - będącego miarą przekonania, iż stwierdzenia A i B można uznać za prawdziwe,
- *prawdopodobieństwa warunkowego* $P(A|B)$ - stanowiącego miarę przekonania, iż stwierdzenie A jest prawdziwe wtedy, gdy B jest prawdziwe.

Zależności pomiędzy prawdopodobieństwem łącznym $P(A,B)$ i warunkowym $P(A|B)$ określone są następującą zależnością.

$$P(A, B) = P(A)P(B|A) = P(B)P(A|B) \quad (3.2)$$

Równanie 3.2 stanowi podstawę, sformułowanego w XVIII wieku, twierdzenia Bayesa.

$$P(A|B) = \frac{P(A, B)}{P(B)} = \frac{P(B|A)P(A)}{P(B)} \quad (3.3)$$

i równoważnego

$$P(h_i|e_j) = \frac{P(e_j|h_i)P(h_i)}{P(e_j)} = \frac{P(e_j|h_i)P(h_i)}{\sum_i P(e_j|h_i)P(h_i)} \quad (3.4)$$

gdzie:

- $P(h_i|e_j)$ - prawdopodobieństwo warunkowe, iż hipoteza h_i jest prawdziwa wtedy, gdy racja e_j jest prawdziwa;
- $P(e_j|h_i)$ - prawdopodobieństwo warunkowe, iż racja e_j jest prawdziwa wtedy, gdy hipoteza h_i jest prawdziwa;
- $P(h_i)$ - prawdopodobieństwo *a priori*, iż hipoteza h_i jest prawdziwa;

Zgodnie z założeniami teorii Bayesa zakłada się istnienie *zamkniętego świata*, dla którego hipotezy są rozłączne,

$$\sum_{i=1}^n P(h_i) = 1 \quad (3.5)$$

i wyczerpujące

$$\sum_{j=1}^m P(e_j|h_i) = 1 \quad (3.6)$$

3.2. Stopnie przekonania

Stopnie przekonania przypisane poszczególnym stwierdzeniom zestawu stwierdzeń określonego węzła sieci przekonanych stanowią subiektywne miary prawdopodobieństwa. Błędnym podejściem jest wiązanie ich wartości z wartością prawdopodobieństwa określającego prawdziwość stwierdzenia. Przedstawione nieporozumienie wynika z dwuznaczności terminu *prawdopodobieństwo*. W pierwszym przypadku prawdopodobieństwo można interpretować jako częstość wystąpienia pewnego zdarzenia e .

$$P(e) = \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{n(e)}{N} \quad (3.7)$$

gdzie:

- $n(e)$ - liczba zdarzeń e występujących podczas obserwacji;
- N - ogólna liczba zdarzeń;

Odmiernym, od opisanego powyżej, jest podejście dla którego prawdopodobieństwo rozumiane jest jako *prawdopodobieństwo subiektywne*, stanowiące miarę przekonania.

W praktyce zastosowanie znalazły obie definicje, jednakże jednoczesne ich stosowanie prowadzi do nieporozumień, których główną przyczyną jest oczekiwanie spełnienia zależności

$$P(A) \equiv 1 - P(\neg A) \quad (3.8)$$

gdzie:

- $P(A)$ - prawdopodobieństwo zajścia zdarzenia A ;
- $P(\neg A)$ - prawdopodobieństwo braku zdarzenia A ;

świadczącej o istnieniu wyłącznie dwóch przypadków, A jest prawdziwe lub nieprawdziwe, zgodnie z prawem wyłącznego środka logiki klasycznej [44].

3.3. Uczenie sieci przekonań

Celem procesu uczenia sieci przekonań jest wyznaczenie tablic prawdopodobieństw warunkowych (ang. Conditional Probability Table, CPT) [8], [112].

Stosowane w praktyce podejście opiera się na uczeniu sieci na bazie danych zawartych w przykładach uczących, które mogą być również wykorzystane do wyznaczenia topologii sieci.

Zbiory danych uczących zawierają przykłady reprezentowane przez wektory wartości rozpatrywanych cech.

Efektywność procesu uczenia uzależniona jest między innymi od danych uczących oraz zastosowanego algorytmu uczenia. W przypadku danych uczących niejednokrotnie może okazać się, iż posiadane przykłady są nieliczne i prowadzą do zbyt dużych uogólnień. Proponowane algorytmy uczące sieci przekonań odznaczają się różnymi właściwościami, wpływają na wymagany czas obliczeń, niwelowanie wpływu małej liczebności danych uczących oraz możliwość uwzględnienia wpływu niekompletności zestawu stwierdzeń w węźle.

Proces uczenia sieci przekonań prowadzony jest najczęściej w oparciu o zasady [20]:

- maksymalnego prawdopodobieństwa danych (ang. *Maximum Likelihood*, ML),
- maksymalnego prawdopodobieństwa *a posteriori* (ang. *Maximum a posteriori*, MAP).

Przedstawiona zasada MAP stanowi klasyczne podejście oparte na twierdzeniu Bayesa, choć uznana jest za podejście lepsze i bardziej naturalne, wymaga jednak wyznaczenia prawdopodobieństw *a priori*. Algorytm MAP nie posiada dużego znaczenia praktycznego gdyż wiąże się z dużymi kosztami obliczeniowymi. Jego stosowanie ogranicza się jedynie do małych przestrzeni rozpatrywanych hipotez.

W literaturze fachowej można znaleźć wiele przykładów algorytmów służących do uczenia sieci przekonań, między innymi [74], [112]:

- bezpośredni algorytm MAP (ang. *brute-force MAP*, BFMAP),
- naiwny klasyfikator bayesowski (ang. *naive Bayes classifier*, NBC),
- algorytm EM (ang. *Expectation Maximization*, EM),
- algorytm gradientowy (ang. *Gradient Descent*, GD) itd.

Przedstawiona wybrana grupa algorytmów stanowi niejednokrotnie wyposażenie aplikacji wspomagających tworzenie i wykorzystanie sieci przekonań.

3.4. Oprogramowanie

W zastosowaniach praktycznych najczęściej stosowane są aplikacje szkieletowe umożliwiające budowę statycznych sieci przekonań, oferujące zoptymalizowane algorytmy wnioskowania i uczenia budowanej sieci.

Istnieje obecnie wiele przykładów oprogramowania stosowanego do budowy sieci przekonań, są to zarówno programy nieodpłatne (ang. freeware), jak również wersje komercyjne. Do popularnych przykładów stosowanego oprogramowania należą między innymi:

- Ergo [73],
- Graphical-Belief 2.0 [59],
- Netica [74],
- Hugin [34].

Wymieniona grupa aplikacji pozwala na stosunkowo łatwą i szybką definicję struktury budowanej sieci przekonań dzięki wykorzystaniu graficznego interfejsu użytkownika. Odpowiednie narzędzia umożliwiają określenie zestawu stwierdzeń wskazanych węzłów sieci oraz tablic prawdopodobieństw warunkowych.

Zaawansowane aplikacje (np. Netica) posiadają wbudowane algorytmy uczące sieć przekonań, pozwalające na zautomatyzowanie procesu generowania tablic prawdopodobieństw warunkowych. Istnieje również możliwość wyznaczenia struktury sieci na podstawie wyłącznie danych uczących. Wielu producentów udostępnia również API oferowanych programów pozwalając na integrację z innymi zewnętrznymi aplikacjami.

3.5. Zastosowanie w dziedzinie projektowania i konstruowania maszyn

Zastosowanie sieci przekonań do wspomagania procesu projektowo-konstrukcyjnego maszyn jest podejściem nowym, autorowi nie są znane znaczące działania w tym zakresie.

Jednym z przykładów zastosowania opisanego podejścia są badania [55], [56], w których sieci przekonań wykorzystuje się do identyfikacji cech geometrycznych sparametryzowanych modeli. Tworzone katalogi prymitywów stanowią sformalizowany opis topologii modelu geometrycznego. Sieć przekonań pozwala na wyznaczanie stopni przekonania o istnieniu wirtualnych połączeń pomiędzy poszczególnymi cechami geometrycznymi, co w dalszym etapie umożliwia identyfikację wycięć, otworów itd. wykonywanych w elementach.

Innym przykładem wykorzystania sieci przekonań jest aplikacja wspomagająca proces pozycjonowania i programowania robota, opisana w [60], [61].

3.6. Podsumowanie

Omawiane w niniejszym rozdziale sieci przekonań wiążą się z zastosowaniem metod statystycznych, których główną zaletą jest ściśle określony aparat matematyczny. Niestety do ich podstawowych wad należy zaliczyć konieczność określania tablic prawdopodobieństw warunkowych oraz prawdopodobieństw *a priori*, które to odznaczają się dużymi trudnościami ich oszacowania, a które jednocześnie wpływają na otrzymany wynik [44], [80], [92].

Rozdział 4

Problem badawczy

Zagadnienia zawarte w rozdziałach 2. i 3., związane z projektowaniem i konstruowaniem oraz rolą wiedzy inżynierskiej w procesie projektowo-konstrukcyjnym pozwalają na określenie problemu badawczego oraz wyznaczenie planu badań.

4.1. Opis przedmiotu badań

Specyfika dziedziny zainteresowania stanowiącej przedmiot podjętych badań odznacza się następującymi właściwościami:

1. *Rozwiązanie zadania projektowo-konstrukcyjnego posiada najczęściej charakter przybliżony.*

Sytuacja taka spowodowana jest wieloma czynnikami, do których należy zaliczyć przede wszystkim przybliżony charakter rozumowania projektanta oraz podejmowanych przez niego decyzji. Powstanie pewnej niejednoznaczności wynika również ze specyfiki procesu projektowo-konstrukcyjnego, mianowicie dla ściśle określonej grupy wymagań stawianych projektowanemu obiektowi otrzymujemy na ogół liczną grupę rozwiązań rozpatrywanego zadania. Stwierdzenie to jest prawdziwe również w przypadku procesów uznanych za rutynowe.

2. *Istnieje możliwość podziału złożonego zadania projektowo-konstrukcyjnego na grupy podzadań.*

Realizacja złożonych zadań projektowo-konstrukcyjnych wymaga wyznaczenia pewnych pomniejszych podzadań, które rozpatrywane są niezależnie. Podejście takie wynika z konieczności dokonania uproszczenia problemu, gdyż poszukiwanie rozwiązania globalnego jest w większości przypadków procesem o dużym stopniu trudności. Omawiany podział jest podejściem naturalnym stosowanym powszechnie przez projektantów, umożliwia wyznaczenie poszczególnych etapów projektu jak również rozdzielenie zadań w przypadku pracy grupowej.

W przypadku dokonanego podziału istotnym zagadnieniem jest wyznaczenie wzajemnych relacji pomiędzy wyznaczoną grupą podzadań. Niejednokrotnie przyjęcie rozwiązania określonego podzadania wpływa na rozmiar przestrzeni rozwiązań innego podzadania.

3. *Kompletna grupa czynników decydujących o przyjęciu rozwiązania określonego zadania projektowo-konstrukcyjnego nie jest możliwa do wyznaczenia.*

Powodem takiego stanu rzeczy jest przede wszystkim brak wyczerpującej wiedzy z określonej dziedziny jak również celowe pominięcie czynników uznanych za mało istotne. Analizowane czynniki reprezentują na ogół cechy konstrukcyjne oraz cechy projektowanego obiektu związane z jego eksploatacją oraz wymaganiami określonymi przez użytkownika. Interesującym zagadnieniem jest wpływ liczebności analizowanych czynników na otrzymany rozmiar przestrzeni rozwiązań spełniających określone wymagania.

4. *Analizowane cechy wpływające na dobór określonego rozwiązania są wzajemnie zależne.*

Wyznaczone cechy opisujące rozpatrywany obiekt są od siebie zależne, zmiana wartości jednej z cech wpływa na wartość pozostałych. Obserwacja wzajemnego ich wpływu może stać się cennym źródłem informacji w procesie wyboru określonego rozwiązania.

5. *Brak ogólnej metody opisywania związków pomiędzy wartościami cech obiektów pozwalającej na sformalizowane reprezentowanie przybliżonej i niedokładnej wiedzy projektowo-konstrukcyjnej.*

Jak dotąd nie wypracowano ogólnie akceptowanego sposobu reprezentacji niepewności relacji pomiędzy wartościami cech opisujących obiekt, co pozwoliłoby na zastosowanie takiego rozwiązania w procesie projektowo-konstrukcyjnym.

6. *Rozwiązanie zadania projektowo-konstrukcyjnego jest wyznaczane na podstawie subiektywnej oceny projektanta.*

Ze względu na liczny zbiór rozwiązań określonego zadania projektowo-konstrukcyjnego istnieje konieczność wyznaczenia optymalnego, w świetle przyjętych kryteriów, rozwiązania. Projektant postępując się subiektywną oceną jak również pewnymi metodami wspomagającymi (np. dobór kryterialny) określa wynikowe rozwiązanie projektowanego obiektu.

7. *Działanie systemu doradczego wspomagającego działalność projektowo-konstrukcyjną powinno odbywać się we współpracy z systemem komputerowego wspomagania projektowania.*

Systemy komputerowego wspomagania projektowania stanowią podstawowe narzędzie działalności projektanta. Budowane systemy doradcze powinny współpracować bezpośrednio z systemem CAD. Podstawowym problemem do rozwiązania jest zapewnienie odpowiedniej wymiany danych pomiędzy zintegrowanymi aplikacjami.

4.2. Plan badań

Zakłada się realizację przedstawionego problemu badawczego w następujących etapach.

1. Opracowanie metodologii postępowania przy pozyskiwaniu i gromadzeniu wiedzy inżynierskiej za pomocą sieci przekonań.
2. Określenie sposobu zastosowania zgromadzonej w sieci przekonań wiedzy, w tym przede wszystkim interpretacji wyników procesu wnioskowania przybliżonego.
3. Wybór określonego zadania projektowo-konstrukcyjnego do zbadania przydatności zaproponowanej metody.
4. Określenie źródeł wiedzy oraz metody jej pozyskiwania.
5. Zapis modelu zadania projektowo-konstrukcyjnego za pomocą sieci przekonań zgodnie z opracowaną metodą.
6. Budowa systemu doradczego działającego w środowisku systemu komputerowego wspomagania projektowania.
7. Przykład zastosowania opracowanego narzędzia.
8. Sformułowanie wniosków z przeprowadzonych badań.

Rozdział 5

Opis metody. Budowa modelu projektowanego obiektu

Przedmiotem niniejszego rozdziału jest przedstawienie metodologii umożliwiającej budowę modelu projektowanego obiektu za pomocą sieci przekonań.

W kolejnych podrozdziałach przedstawiono proces pozyskiwania, gromadzenia i stosowania wiedzy inżynierskiej.

Wprowadzone pojęcia dotyczące pozyskiwania, gromadzenia i zastosowania wiedzy inżynierskiej w kontekście sieci przekonań definiuje się następująco:

- *pozyskiwanie* - akwizycja wiedzy, prowadzona dla istniejącej sieci przekonań (*uczenie sieci*),
- *gromadzenie* - budowa modelu projektowanego obiektu, określenie sposobu jego reprezentacji (*budowa sieci*),
- *stosowanie* - prowadzenie procesu wnioskowania w oparciu o sieć przekonań do rozwiązywania określonych zadań (*działanie sieci*).

Jak wykazuje praktyka, pierwszym etapem realizacji zadania jest budowa sieci, następnie jej uczenie i użytkowanie. Taka kolejność została przyjęta przy opisie poszczególnych etapów, opisanych w kolejnych rozdziałach.

5.1. Opis metody. Model projektowanego obiektu

Opracowana metoda ma na celu reprezentację wiedzy projektowo-konstrukcyjnej za pomocą sieci przekonań. Realizacja prac składa się z dwóch głównych etapów:

1. budowa modelu projektowanego obiektu,
2. wyznaczanie tablic prawdopodobieństw warunkowych CPT.

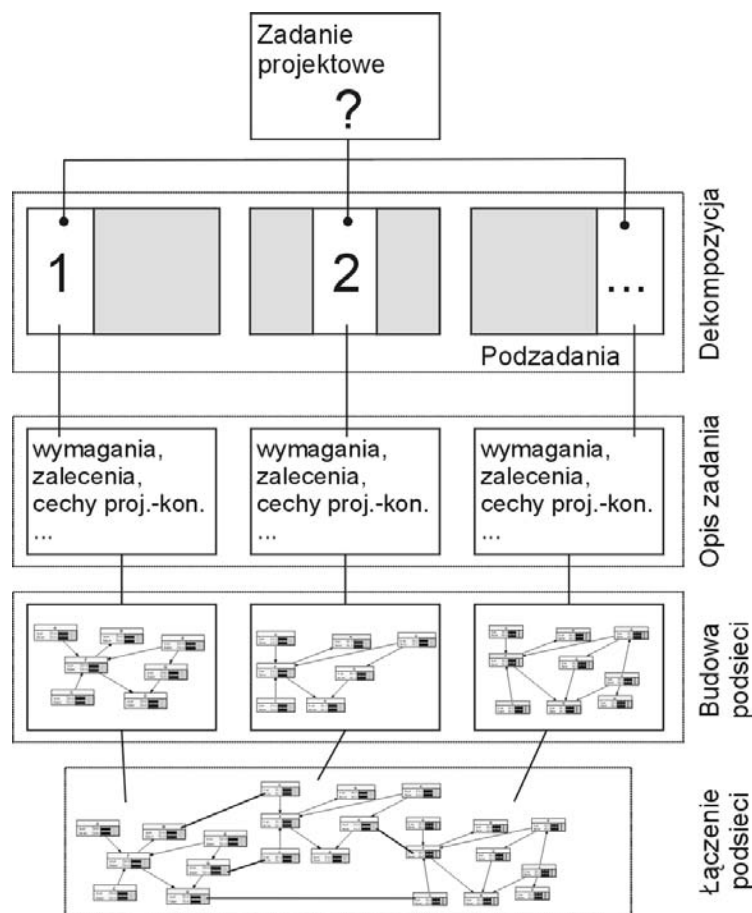
Przedstawione etapy stanowią treść rozdziałów 5.2. (budowa modelu projektowanego obiektu) oraz 5.3. (wyznaczanie tablic CPT).

5.2. Gromadzenie wiedzy. Budowa sieci przekonań

Przedmiotem rozdziału są zagadnienia związane z budową modelu projektowanego obiektu za pomocą sieci przekonań. Przyjęto założenie, iż poszczególne węzły sieci reprezentują stwierdzenia o warunkach działania i cechach konstrukcyjnych rozpatrywanego obiektu. Warunki działania traktowane są jako cechy projektowanego obiektu.

Podejmując się opisu wybranego zadania projektowo-konstrukcyjnego podstawowym problemem jest na ogół ujęcie zadania całościowo. Projektant samodzielnie określa pewne poszczególne etapy realizacji określonego projektu. W odniesieniu do budowy modelu projektowanego obiektu zaproponowano pewną metodologię postępowania, zobrazowaną na rysunku 5.1. Głównymi elementami proponowanego podejścia są:

- dekompozycja,
- opis zadania,
- budowa podsieci,
- łączenie podsieci.



Rys. 5.1. Etapy budowy modelu projektowanego obiektu za pomocą sieci przekonań

5.2.1. Dekompozycja

Przystępując do realizacji określonego procesu projektowo-konstrukcyjnego napotykamy na problem związany z objęciem myślowym wszystkich aspektów związanych z określonym zadaniem. Sytuacja ta jest szczególnie widoczna w przypadku złożonych problemów projektowo-konstrukcyjnych. Naturalnym podejściem staje się wydzielenie pewnej grupy podzadań wchodzących w skład określonego zadania. Podział taki umożliwi rozpatrywanie pomniejszych zadań oraz w przypadku pracy grupowej podział obowiązków pomiędzy poszczególnymi realizatorami projektu.

W przypadku budowy sieci przekonań reprezentującej model złożonego obiektu proponuje się przeprowadzenie *dekompozycji* umożliwiającej uzyskanie grupy pomniejszych podzadań, które mogą być realizowane niezależnie. Prócz podziału na pomniejsze zadania należy również określić wzajemne relacje pomiędzy poszczególnymi podzadaniami, określając *część wspólną* pewnych podzadań.

Zaproponowany podział prowadzi do otrzymania grupy zależnych podzadań rozpatrywanych oddzielnie. Pomimo dokonanego podziału często pewien zestaw informacji stanowiących wyjście (wynik) jednego podzadania stanowi wejście innego podzadania. Wspomniane elementy można zaliczyć do przedstawionej powyżej *części wspólnej* dwóch lub więcej pojedynczych podzadań. Szczegółowe informacje dotyczące wspomnianego problemu przedstawiono w rozdziale 5.2.4.

Proces dekompozycji projektowanego obiektu można przeprowadzić w kontekście:

- struktury środka technicznego (zespół-podzespół-element),
- pełnionych funkcji,
- posiadanych informacji (zaleceń) dotyczących określonych właściwości rozpatrywanego obiektu.

Przedstawione powyżej wytyczne nie stanowią zamkniętej grupy, nie sposób uwzględnić podziału stanowiącego subiektywną ocenę poszczególnych projektantów czy też zaleceń i planów realizacji określonego zadania.

5.2.2. Opis zadania

Opis zadania projektowo-konstrukcyjnego, mający na celu zdefiniowanie modelu projektowanego obiektu, przebiega w dwóch etapach:

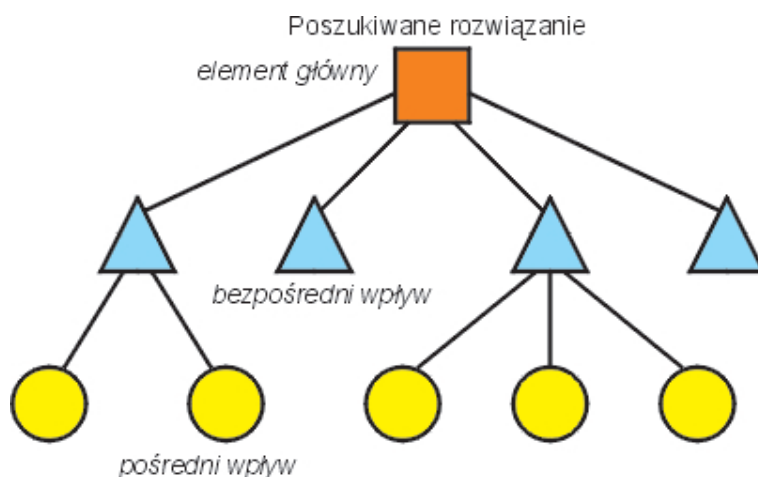
- określenie zbioru rozpatrywanych cech oraz ich wartości wpływających na przyjęcie rozwiązania określonego podzadania (podzespołu, elementu lub części projektowanego obiektu),
- określenie wzajemnych relacji pomiędzy cechami.

Wyznaczenie grupy cech wiąże się z określeniem rozpatrywanych cech konstrukcyjnych oraz cech projektowanego obiektu. Cechy projektowanego obiektu mogą dotyczyć zarówno procesu eksploatacji (np. wymagalnej obciążalności poprzecznej łożyska) jak również mogą opisywać cechy funkcjonalne obiektu (np. zastosowanie rowka wpustowego). Na ogół zagadnienie to określa specyfika zadania.

Kolejnym etapem, po wyznaczeniu rozpatrywanych cech, jest określenie zbioru wartości przyjmowanych przez wyznaczone cechy. Naturalnym podejściem jest przypisywanie im wartości lingwistycznych, którymi na ogół posługuje się projektant. I tak przedstawiona wymagana obciążalność poprzeczna łożyska może przyjmować wartości: *bardzo dobra*, *dobra*, *średnia*, *mała* itd. lub w przypadku zastosowania rowka wpustowego odpowiednio *tak*, *nie* lub *nie wiem*.

Określając zbiór wartości rozpatrywanej cechy należy pamiętać o występowaniu pewnych zależności. Mianowicie, nadmierne ograniczenie liczebności rozpatrywanych wartości cechy prowadzi do zwiększenia *ziarnistości*, a co za tym idzie zmniejszenia dokładności. Należy również zwrócić uwagę na fakt, iż nadmierna ich liczba powoduje zwiększenie przestrzeni rozpatrywanych wartości, co w dalszym etapie (roz.5.2.3) prowadzi do nadmiernego rozbudowania tworzonego modelu (sieci przekonań).

Wyznaczone cechy mogą wpływać w sposób bezpośredni lub pośredni na poszukiwane rozwiązanie określonego podzadania. Cechy o wpływie pośrednim wpływają na wartości cech o wpływie bezpośrednim. Tworzona jest zatem pewna struktura hierarchiczna (rys.5.2), w której możemy wyróżnić elementy nadrzędne (rodzice) i elementy podrzędne (dzieci). Elementem głównym (korzeniem) otrzymanej struktury jest rozwiązanie określonego zadania.



Rys. 5.2. Struktura hierarchiczna opisująca podzadanie

Liczba uwzględnianych cech powinna być możliwie duża. Jednocześnie przyjmuje się, iż grupa analizowanych cech jest niekompletna. Taki stan może wynikać z braku posiadanej wiedzy na temat określonej dziedziny jak również może być wynikiem pominięcia cech uznanych za mało istotne.






5.2.3. Budowa podsieci

Tematyka niniejszego rozdziału obejmuje czynności związane z budową modeli opisanych przez poszczególne podzadania reprezentowanych za pomocą sieci przekonań. Posiadane informacje o strukturze modelu reprezentującego określone podzadanie oraz cechach i przypisanych im zbiorach wartości pozwalają na budowę sieci przekonań.

Głównymi składnikami budowanej sieci przekonań są:

- węzły sieci,
- gałęzie skierowane.

Poszczególne węzły sieci reprezentują stwierdzenia o warunkach działania i cechach konstrukcyjnych projektowanego obiektu. Określona cecha projektowanego obiektu oraz przyjmowane przez nią wartości (roz.5.2.2) odpowiadają cesze zestawu stwierdzeń pojedynczego węzła sieci przekonań.

Węzeł sieci		
stwierdzenie 1	20.0	
stwierdzenie 2	20.0	
stwierdzenie 3	20.0	
stwierdzenie 4	20.0	
stwierdzenie 5	20.0	

<obiekt, nazwa_cechy, wartość_cechy>
 <łożysko toczne, obciążalność poprzeczna; bardzo dobra>
 <łożysko toczne, obciążalność poprzeczna; dobra>
 <łożysko toczne, obciążalność poprzeczna; średnia>
 <łożysko toczne, obciążalność poprzeczna; mała>
 <łożysko toczne, obciążalność poprzeczna; nie wymagana>

Rys. 5.3. Węzeł sieci przekonań

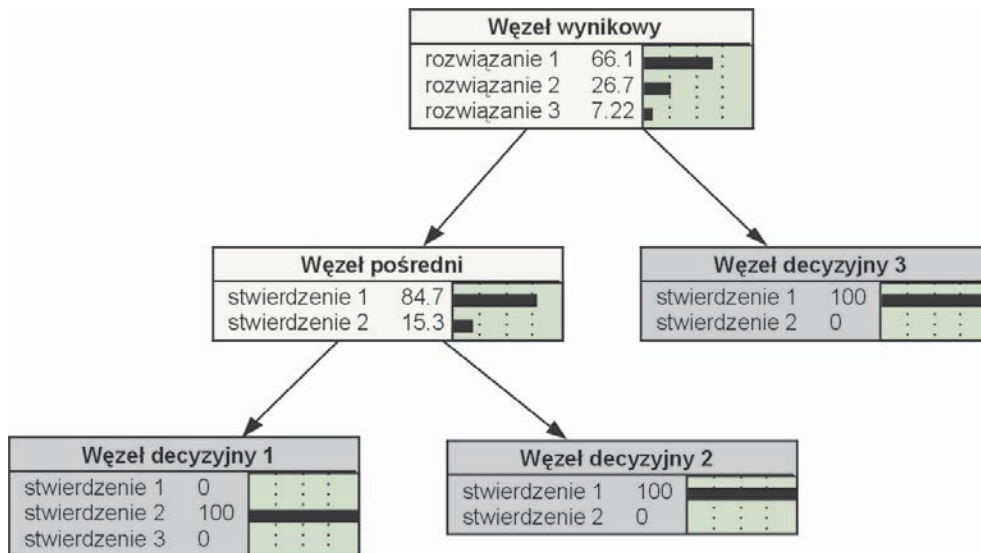
Wprowadzony podział rozpatrywanych cech w kontekście wpływu na poszukiwane rozwiązanie jak również otrzymana struktura hierarchiczna pozwala na podział rozpatrywanych węzłów na trzy grupy, mianowicie:

- węzeł decyzyjny,
- węzeł wynikowy,
- węzeł pośredni.

Węzłem decyzyjnym przyjęto określać węzeł stanowiący wejście wyznaczonego modelu projektowanego obiektu. Na ogół węzły decyzyjne stanowią grupę cech odpowiadających czynnikom mających wpływ na poszukiwane rozwiązanie określonego zadania. Informacje związane z rozpatrywaną przestrzenią rozwiązań zadania projektowo-konstrukcyjnego zawarta jest w *węźle wynikowym*, stanowi wyjście modelu. Wprowadzone *węzły pośrednie* traktowane są jako węzły pomocnicze, ich głównym zadaniem jest uproszczenie struktury rozpatrywanego modelu.

Kolejnym etapem, po wyznaczeniu węzłów sieci, jest definicja gałęzi skierowanych, które łączą poszczególne węzły i które jednocześnie określają strukturę ich wzajemnych zależności. Struktura budowanej sieci powinna opierać się na strukturze hierarchicznej wyznaczonej na etapie opisu zadania (rozdział 5.2.2). Zwroty poszczególnych gałęzi skierowanych powinny przebiegać od elementu nadrzędnego (rodzica) do elementu podrzędnego (dziecka). Opisanie powyżej rozwiązanie zapewnia zachowanie zależności i wpływu wzajemnego poszczególnych węzłów sieci przekonań. Jak również powoduje zmniejszenie rozmiarów tablic prawdopodobieństw warunkowych przypisanych odpowiednim węzłom.

W przypadku budowy modelu reprezentującego określone podzadanie przyjęto, iż tworzona struktura sieci odpowiada budowie typowego klasyfikatora (rys.5.4) [6]. Jego zadaniem jest sklasyfikowanie danego przypadku określonego podjętymi decyzjami. Taka struktura ułatwia proces łączenia poszczególnych modeli podzadań w jedną spójną sieć przekonań.



Rys. 5.4. Sieć przekonań - klasyfikator

5.2.4. Łączenie podsieci

Ostatnim etapem budowy modelu projektowanego obiektu jest połączenie poszczególnych modeli grupy wyznaczonych podzadań w jedną spójną sieć przekonań reprezentującą określone zadanie w sposób całościowy.

Zasadniczo proces łączenia polega na definiowaniu połączeń (gałęzi skierowanych) pomiędzy węzłami poszczególnych podsieci. Połączenia te charakteryzują wzajemny wpływ wyników podzadań na otrzymane rozwiązanie globalne.

W praktyce połączenie te realizowane jest pomiędzy węzłami wynikowymi podsieci uznanych za *podrzedne* oraz węzłami decyzyjnymi podsieci *nadrzędnych*. Jako sieć uznana za *podrzedną* rozumie się model podzadania, którego węzeł wynikowy traktowany jest jako wejście do łączonej podsieci, mającej w tym wypadku status podsieci *nadrzędnej*. Tym samym węzeł wynikowy określonej podsieci podrzędnej staje się jednocześnie węzłem decyzyjny dla podsieci nadrzędnej.

5.3. Pozyskiwanie wiedzy. Uczenie sieci przekonań

Głównym celem procesu pozyskiwania wiedzy, w przypadku stosowania sieci przekonań, jest określenie lub modyfikacja tablic prawdopodobieństw warunkowych CPT. W literaturze (np. [44], [112]) wyraźnie podkreśla się znaczenie tego procesu ze względu na decydujący wpływ na działanie budowanej sieci przekonań.

Definiowanie i modyfikowanie tablic prawdopodobieństw warunkowych CPT może być realizowane w dwojaki sposób [74]:

- *manualnie* - poprzez bezpośrednie definiowanie wartości prawdopodobieństw warunkowych, zawartych w tablicach CPT, w sposób subiektywny na podstawie wiedzy i intuicji inżyniera wiedzy,
- *automatycznie* - uczenie sieci na bazie zestawu przygotowanych przykładów.

Manualny sposób definiowania tablic CPT wiąże się z szeregiem problemów. Ich główną przyczyną jest konieczność oszacowania poszczególnych wartości prawdopodobieństw warunkowych dla wszystkich rozpatrywanych cech zestawu stwierdzeń zdefiniowanych w węźle. Zadanie takie ulega znacznej komplikacji w przypadku dużego rozmiaru tablicy.

Rozwiązaniem uznanym za korzystniejsze jest pozyskiwanie zestawu przykładów uczących, które są wykorzystywane w procesie uczenia sieci przekonań. Odpowiednio przygotowane formularze upraszczają pozyskiwanie takich przykładów. Zadaniem specjalisty (projektanta) jest wyłącznie podanie określonych wartości dla zbioru cech opisujących rozpatrywany model projektowanego obiektu.

5.3.1. Źródła wiedzy

Pierwszym etapem realizacji procesu pozyskiwania wiedzy jest określenie potencjalnych źródeł wiedzy. Jak pokazuje praktyka, pod uwagę brane są zasadniczo dwa główne źródła:

- wywiady ze specjalistami,
- analiza literatury fachowej oraz przegląd dostępnej dokumentacji technicznej.

Rozpatrywana grupa specjalistów prezentuje na ogół zróżnicowane podejście do rozwiązania określonego zadania projektowo-konstrukcyjnego. Różnice pomiędzy poszczególnymi ekspertami spowodowane są szeregiem czynników np. stanem wiedzy z określonej dziedziny, osobistymi preferencjami projektanta itd. Dlatego zaproponowano wprowadzenie *wag* pozyskanych przykładów uczących. Założono, iż wyznacznikiem określającym wagi jest posiadany staż pracy określonego specjalisty. Wartość wagi w odniesieniu do pozyskanych przykładów uczących określa krotność ich stosowania podczas uczenia sieci przekonań.

5.3.2. Przykłady uczące

Na podstawie określonych źródeł wiedzy wyznaczono wartości poszczególnych cech reprezentujących określone przykłady rozwiązań zadania. Wartości cech konstrukcyjnych oraz cech obiektu determinują wartości odpowiednich cech węzłów decyzyjnych.

Przykłady uczące zawierają określone wartości poszczególnych cech zawartych w odpowiednich węzłach sieci przekonań. Przykładową strukturę przykładów uczących pokazano na rysunku 5.5.

IDnum	NumCases	NazwaCechy.1	NazwaCechy.2	...	NazwaCechy.n
1	5	WartośćCechy	WartośćCechy		WartośćCechy
2	10	WartośćCechy	WartośćCechy		WartośćCechy
...					
n	5	WartośćCechy	WartośćCechy		WartośćCechy

nr przykładu wagi grupa cech decyzyjnych cecha określająca rozwiązanie

Rys. 5.5. Przykłady uczące

Odpowiednie kolumny odpowiadają rozpatrywanej grupie cech, natomiast poszczególne rekordy zawierają wartości przyporządkowane określonemu przykładowi.

5.3.3. Uczenie sieci

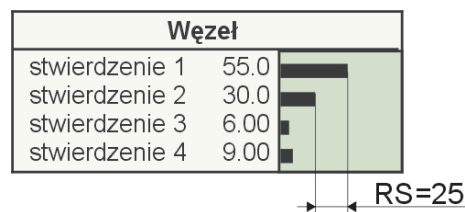
Proces uczenia sieci, w szczególności stosowany algorytm uczący, determinuje posiadane oprogramowanie wspomagające proces budowy sieci przekonań. Wykorzystane w badaniach oprogramowanie wraz z stosowanym algorytmem uczącym omówiono w rozdziale 6.6.

5.4. Stosowanie wiedzy. Działanie sieci przekonań

Działanie sieci przekonań, reprezentującej model projektowanego obiektu, polega na wyznaczeniu propozycji rozwiązania na podstawie przyjętych warunków, założeń i podjętych decyzji. Znane wartości węzłów decyzyjnych wyznaczają wartości w węzłach wynikowych.

5.4.1. Rozróżnialność stanów

Wprowadzoną miarą umożliwiającą interpretację otrzymanych wyników procesu wnioskowania z wykorzystaniem sieci przekonań jest *rozróżnialność stanów* (ozn. RS) określająca przekonanie o przynależności określonego przypadku do jednej z rozpatrywanych klas przestrzeni poszukiwanych rozwiązań. Realizacja procesu wnioskowania za pomocą sieci przekonań wyznacza grupę wartości określających stopnie przekonania. Wartości te są wyznaczane dla całego zestawu stwierdzeń (stanów) określonego węzła sieci.



Rys. 5.6. Rozróżnialność stanów węzła

Za *stany rozróżnialne* przyjęto uważać dwa stwierdzenia, dla których różnica wartości stopnia przekonania jest wartością większą niż 25. Wartość ta została oszacowana empirycznie, gdyż wartości stopni przekonań nie można interpretować jako prawdopodobieństw, co oznacza, że wartości progowe (krytyczne) nie będą wynikały z rozważań statystycznych. W przypadku niespełnienia powyższej zależności dwa rozpatrywane stany uważa się za *nierozróżnialne*. Posługując się odpowiednim zapisem pojęcie *rozróżnialności stanów* możemy określić zależnością.

$$RS_{i,j} = BF_i - BF_j \quad (5.1)$$

gdzie:

- BF_i, BF_j - stopień przekonania stwierdzenia (stanu) i, j ($BF_i > BF_j$);

Przyjmuje się, iż im większa różnica pomiędzy otrzymanymi wartościami stopnia przekonania tym większa pewność o istnieniu dwóch różnych niezależnych rozwiązań.

Wyznaczenie wartości wprowadzonej miary RS umożliwia wyznaczenie preferencji rozwiązań projektowanego obiektu. Pozwala na określenie równoważnych rozwiązań spełniających zbiór określonych wymagań użytkownika.

Rozdział 6

Model projektowanego obiektu dla wybranego zadania projektowo-konstrukcyjnego

W rozdziale przedstawiono zastosowanie sieci przekonań do pozyskiwania i gromadzenia wiedzy inżynierskiej podczas realizacji wybranego zadania projektowo-konstrukcyjnego, zgodnie z założeniami i metodologią stanowiącą treść rozdziału 5.

6.1. Zadanie projektowo-konstrukcyjne

Jako przykład procesu projektowo-konstrukcyjnego wybrano zadanie związane z łożyskowaniem wałów maszynowych. Ze względu na liczną grupę możliwych rozwiązań takiego zadania uznano iż, jest to proces którego wynik jest przybliżony. Duży rozmiar przestrzeni rozwiązań związany jest z liczbą dopuszczalnych konfiguracji stosowanych elementów zapewniających realizację określonego sposobu łożyskowania. W zadaniu przyjęto założenie, iż wał łożyskowany jest wyłącznie na łożyskach tocznych.

Problematyka związana z projektowaniem węzłów łożyskowych jest szeroko omawiana w licznych pozycjach literaturowych np. [29], [45], [90], [108]. Fakt ten stanowi potwierdzenie, iż węzły łożyskowe odgrywają bardzo ważną rolę w procesie eksploatacji maszyn, decydując o działaniu układu napędowego. Wszelkie błędy konstrukcyjne powodują przyspieszone zużycie lub nawet trwałe uszkodzenie współdziałających elementów.

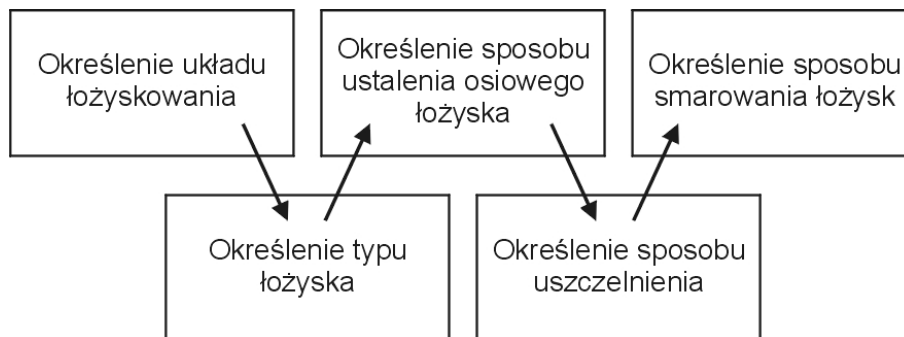
Charakteryzując proces projektowo-konstrukcyjny węzłów łożyskowych można uznać, iż jest on typowym procesem o charakterze rutynowym. Decyduje o tym wypracowany i określony tok postępowania stosowany podczas realizacji takiego zadania. Kolejnym elementem potwierdzającym rutynowy charakter opisanego procesu jest fakt, iż projektowanie węzłów łożyskowych opiera się o wykorzystanie elementów znormalizowanych począwszy od samego łożyska a skończywszy na poszczególnych elementach ustalających łożysko na wale i w oprawie. Jednakże, pomimo ściśle określonego algorytmu postępowania, jak również algorytmu obliczeniowego rozmiar przestrzeni możliwych rozwiązań i co ważne liczba uwzględnianych czynników decydujących o doborze określonego rozwiązania powoduje, iż rozwiązanie zadania projektowania węzłów łożyskowych ma charakter wyłącznie przybliżony.

Proces projektowo-konstrukcyjny łożyskowania wałów posiada następujące właściwości:

- istnieje możliwość logicznego podziału zadania na grupę podzadań,
- dla każdego z podzadań można wyznaczyć grupę czynników decydujących o przyjętym rozwiązaniu takiego podzadania,
- istnieje liczna grupa zaleceń oraz przykładów stanowiących potencjalne źródła wiedzy na temat łożyskowania wałów.

6.2. Dekompozycja

Główne etapy procesu projektowania węzłów łożyskowych przedstawia rysunek 6.1. Przedstawione zadania realizowane są na ogół niezależnie. Jednakże należy pamiętać o istniejących powiązaniach pomiędzy nimi, czego przykładem jest fakt, iż określenie sposobu łożyskowania zależy również między innymi od stosowanego typu łożyska.



Rys. 6.1. Etapy procesu projektowo-konstrukcyjnego łożyskowania wałów

W oparciu o przedstawione informacje można dokonać dekompozycji zadania na grupę podzadań:

1. określenie układu łożyskowania,
2. określenie typu łożyska tocznego,
3. określenie sposobu ustalenia osiowego łożysk,
4. określenie sposobu uszczelnienia,
5. określenie sposobu smarowania łożysk.

Przedstawiona w dalszych rozdziałach budowa modelu procesu projektowo-konstrukcyjnego łożyskowania wałów została ograniczona do podzadań nr 1; 2; 3.

6.3. Opis zadania

Głównym celem etapu *opis zadania* jest wyznaczenie grupy czynników wpływających bezpośrednio lub pośrednio na dobór odpowiednich rozwiązań określonego podzadania. Źródłem informacji jest przede wszystkim analiza literatury fachowej, dane katalogowe oraz wywiady ze specjalistami (projektantami).

6.3.1. Układ łożyskowania

Celem określenia układu łożyskowania jest przyjęcie odpowiedniego rozwiązania spośród następujących konfiguracji:

1. łożysko swobodne - łożysko swobodne,
2. łożysko swobodne - łożysko ustalające,
3. łożysko ustalające - łożysko ustalające.

Łożyskiem *swobodnym* określa się węzeł łożyskowy, w którym łożysko może przemieszczać się w kierunku osiowym. Przesuw ten może zostać zrealizowany np. poprzez osiowe przemieszczenie pierścienia zewnętrznego w oprawie, jak również przesuw względem bieżni łożyska. W przypadku łożyska *ustalającego* nie istnieje możliwość osiowego przemieszczania się pierścieni łożyska względem wału jak i oprawy.

Rozpatrywany zbiór cech

Na podstawie przedstawionych założeń wyznaczono grupę cech obiektu oraz przyjmowanych przez nie wartości wpływających na wybór określonego rozwiązania układu łożyskowania.

Rozpatrywane cechy i ich wartości:

1. **Obciążenie wzdłużne:** *bardzo duże; duże; średnie; małe; brak*

W przypadku dużych wartości obciążenia wzdłużnego zaleca się stosowanie układu łożysko ustalające - łożysko ustalające. Natomiast dla mniejszych obciążeń układ łożysko swobodne - łożysko ustalające. Układ łożysko swobodne - łożysko swobodne można stosować przy braku lub bardzo małych wartościach obciążenia wzdłużnego.

2. **Zwrot obciążenia wzdłużnego:** *stały; zmienny;*

Duże wartości obciążenia wzdłużnego w stosunku do obciążenia poprzecznego przy zmianach kierunku działania obciążenia wzdłużnego wymaga zastosowania układu dwóch łożysk ustalających. W przypadku niewielkiej wartości obciążenia wzdłużnego istnieje możliwość zastosowania układu łożysko swobodne - łożysko ustalające. Natomiast przy stałym kierunku obrotu wału i braku znaczących obciążeń wzdłużnych możliwe staje się zastosowanie łożysk swobodnych w obu węzłach [90].

3. **Zmiany długości wału:** *występują; nie występują;*

Występowanie zmiany długości wału powoduje szereg czynników, do których można zaliczyć przede wszystkim: duże wartości obciążenia poprzecznego, działanie w warunkach wysokich temperatur itd. Czynnikiem ten decyduje o konieczności zastosowania węzłów łożyskowych niwelujących wpływ zmian długości wału np. poprzez zastosowanie układu łożysko swobodne - łożysko ustalające.

4. **Rozszerzalność cieplna wału:** *występuje; nie występuje;*

Czynnik wpływający na występowanie zmiany długości wału. Uzależniony jest między innymi od właściwości tworzywa, z którego wykonany jest wał jak również od zmian temperatury środowiska działania układu.

5. **Ugięcie wału:** *występuje; nie występuje;*

Występowanie ugięcia wału powoduje zmianę odległości pomiędzy węzłami łożyskowymi, co wymusza zastosowanie układu łożysko swobodne - łożysko ustalające lub dwóch łożysk swobodnych.

6. **Smukłość wału:** *duża; mała;*

Smukłość określa podatność wału na występowanie ugięcia pod wpływem działania obciążenia poprzecznego.

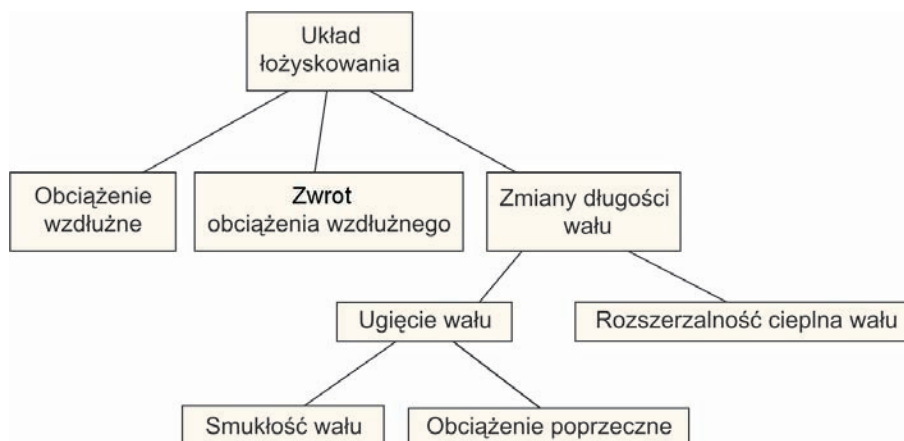
7. **Obciążenie poprzeczne:** *bardzo duże; duże; średnie; małe;*

Duża wartość obciążenia poprzecznego przy dużej smukłości wału powoduje wystąpienie ugięcia wału.

Relacje pomiędzy cechami

Relacje określające zależności pomiędzy wyznaczoną grupą cech tworzą strukturę hierarchiczną przedstawioną na rysunku 6.2.

Wartości cech nadrzędnych (rodziców) są wyznaczane na podstawie cech podrzędnych (dzieci).



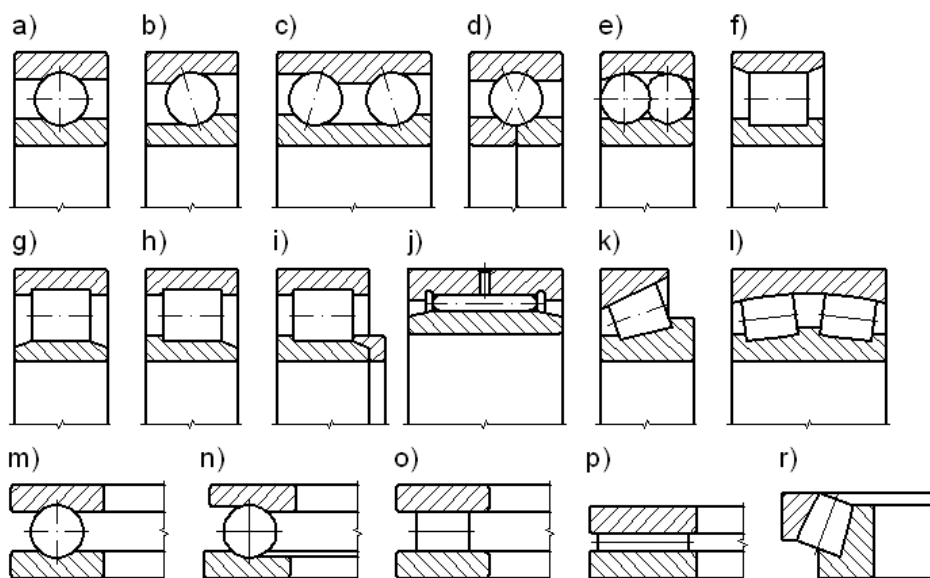
Rys. 6.2. Relacje pomiędzy cechami - układ łożyskowania

6.3.2. Typ łożyska tocznego

W zastosowaniach praktycznych spotyka się bardzo dużo różnych rozwiązań konstrukcyjnych łożysk tocznych [32]. Poszczególne rozwiązania odznaczają się specyficznymi właściwościami, umożliwiającymi spełnienie określonych wymagań w stosunku do warunków ich eksploatacji. Przestrzeń analizowanych rozwiązań składa się z następujących typów łożysk:

1. kulkowe zwykłe (rys.6.3a),
2. kulkowe skośne jednorzędowe (rys.6.3b),
3. kulkowe skośne dwurzędowe (rys.6.3c),

4. kulkowe skośne jednorzędowe dwukierunkowe z dzielonym pierścieniem wewnętrznym (rys.6.3d),
5. kulkowe wahliwe (rys.6.3e),
6. walcowe z prowadzeniem obustronnym na pierścieniu wewnętrznym N (rys.6.3f),
7. walcowe z prowadzeniem obustronnym na pierścieniu zewnętrznym NU (rys.6.3g),
8. walcowe z prowadzeniem obustronnym na pierścieniu zewnętrznym i jednostronnym na pierścieniu wewnętrznym NUJ (rys.6.3h),
9. łożysko walcowe z dodatkowym pierścieniem bocznym; prowadzenie obustronne na pierścieniu zewnętrznym i jednostronne na pierścieniu wewnętrznym i pierścieniu dodatkowym NUP (rys.6.3i),
10. igiełkowe (rys.6.3j),
11. stożkowe (rys.6.3k),
12. baryłkowe dwurzędowe (rys.6.3l),
13. wzdłużne kulkowe (rys.6.3m),
14. kulkowe skośne jednokierunkowe (rys.6.3n),
15. wzdłużne walcowe (rys.6.3o),
16. wzdłużne igiełkowe (rys.6.3p),
17. wzdłużne baryłkowe (rys.6.3r).



Rys. 6.3. Rozpatrywane typy łożysk tocznych [45]

Rozpatrywany zbiór cech

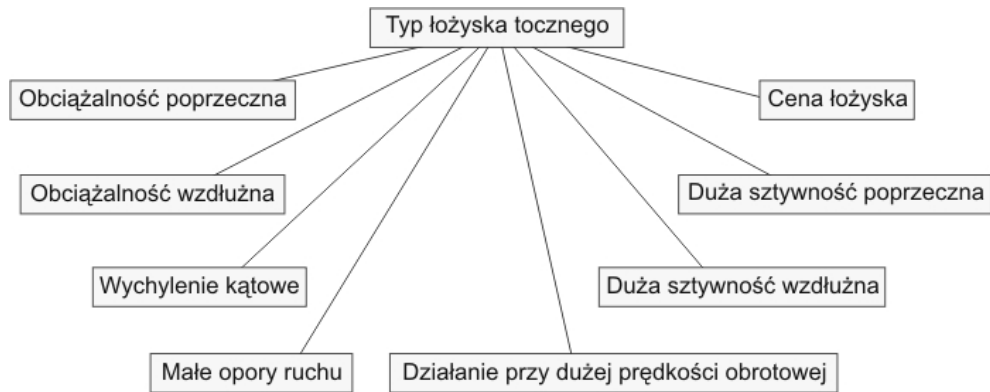
Na podstawie przedstawionych założeń wyznaczono grupę cech obiektu oraz przyjmowanych wartości decydujących o zastosowaniu określonego typu łożyska tocznego.

- Obciążalność poprzeczna:** *bardzo dobra; dobra; średnia; mała; nie wymagana;*
Określa zdolność przenoszenia obciążeń poprzecznych działających w układzie. W przypadku bardzo dużych wartości obciążenia poprzecznego i braku obciążenia wzdłużnego stosuje się łożyska walcowe.
- Obciążalność wzdłużna:** *bardzo dobra; dobra; średnia; mała; nie wymagana;*
Stanowi podstawę do określenia rodziny łożysk tocznych. W przypadku bardzo małych wartości oraz braku występowania obciążenia wzdłużnego zaleca się zastosowanie łożysk promieniowych (poprzecznych), w przeciwnym przypadku dużych należy stosować łożyska skośne lub oporowe (wzdłużne).
- Wychylenie kątowe:** *bardzo duże; duże; średnie; małe; nie wymagane;*
W przypadku występowania ugięć wału konieczne staje się zapewnienie kąтового przemieszczenia pierścieni łożyska.
- Działanie przy dużej prędkości obrotowej:** *bardzo dobrze; dobrze; średnia; mała; nie wymagana;*
Uwzględnia zakres prędkości obrotowych wału wymagany do działania określonego układu. W przypadku wysokich prędkości obrotowych nie zaleca się stosowania łożysk oporowych.
- Małe opory ruchu:** *bardzo dobrze; dobrze; średnia; mała; nie wymagane;*
Wpływa na temperaturę działania łożyska, określa również dopuszczalny poziom prędkości obrotowej.
- Duża sztywność poprzeczna:** *bardzo dobrze; dobrze; średnia; mała; nie wymagana;*
Określa wymaganą sztywność układu w kierunku poprzecznym.
- Duża sztywność wzdłużna:** *bardzo dobrze; dobrze; średnia; mała; nie wymagana;*
Określa wymaganą sztywność układu w kierunku wzdłużnym.
- Cena:** *wysoka; średnia; niska;*
Aspekt podyktowany względami ekonomicznymi, stanowiącymi niejednokrotnie czynnik rozstrzygający dobór odpowiedniego typu łożyska.

Relacje pomiędzy cechami

Relacje określające zależności pomiędzy wyznaczoną grupą cech tworzą strukturę hierarchiczną przedstawioną na rysunku 6.4.

Wartości cech nadrzędnych (rodziców) są wyznaczane na podstawie cech podrzędnych (dzieci).



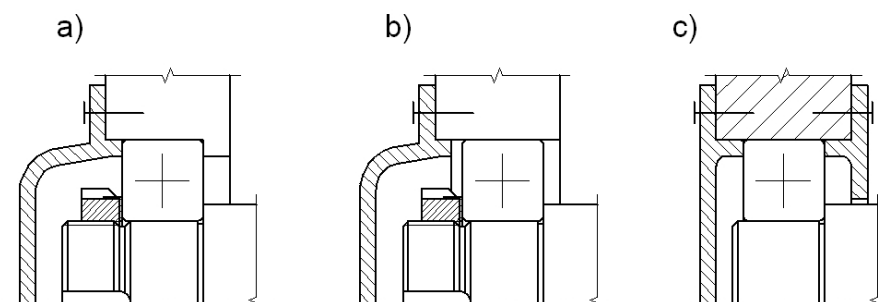
Rys. 6.4. Relacje pomiędzy cechami - typ łożyska tocznego

6.3.3. Ustalenie osiowe łożyska

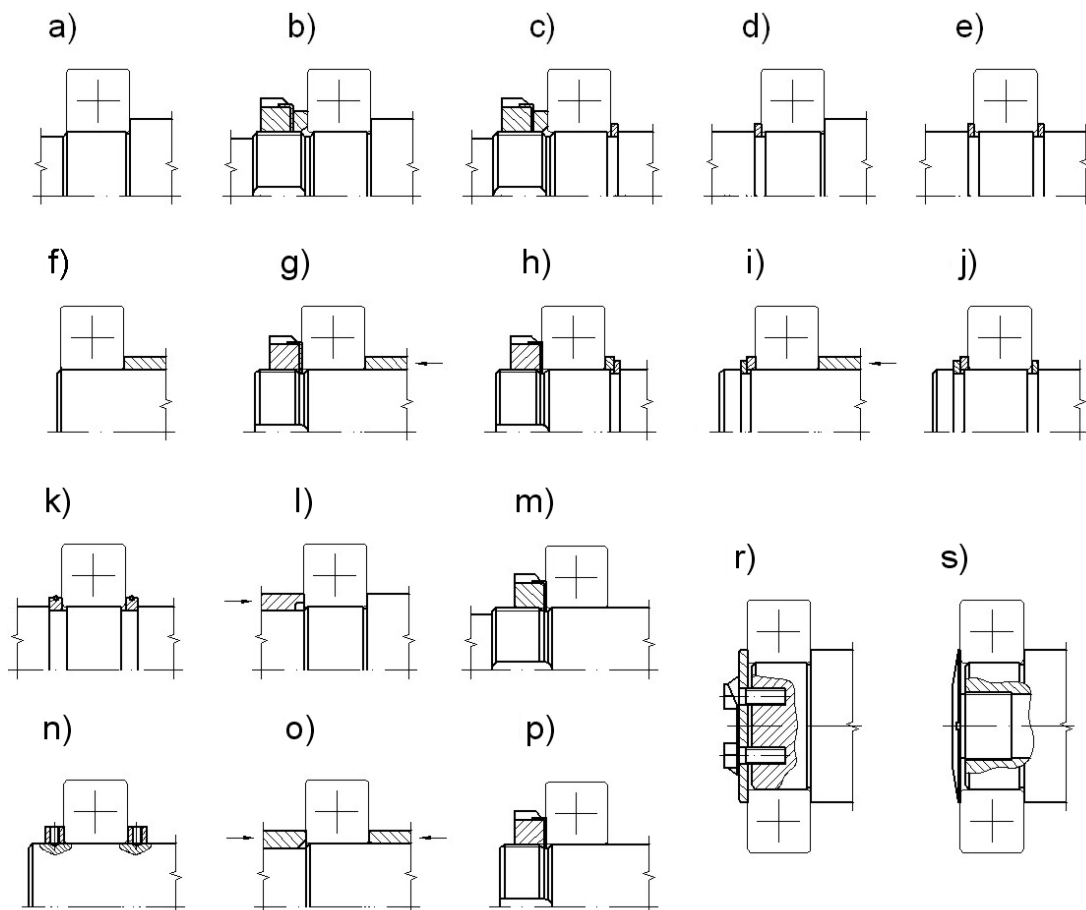
W przypadku określania sposobu ustalenia osiowego łożysk na wale i w oprawie rozpatrywane są następujące konfiguracje:

- łożysko ustalone na wale i ustalone w oprawie (rys.6.5a),
- łożysko ustalone na wale i nie ustalone w oprawie (rys.6.5b),
- łożysko nie ustalone na wale i ustalone w oprawie (rys.6.5c).

Analiza danych literaturowych pozwoliła na wyznaczenie grupy typowych rozwiązań stosowanych do ustalenia łożysk na wale i w oprawie. W tabeli 6.1 i na rysunku 6.6 przedstawiono typowe rozwiązania stosowane przy osadzaniu łożysk na segmencie walcowym wału, natomiast w tabeli 6.2 oraz na rysunku 6.7 pokazano wybrane sposoby ustalenia osiowego pierścienia zewnętrznego łożyska w oprawie.



Rys. 6.5. Ustalenie łożyska na wale i w oprawie [46]



Rys. 6.6. Ustalenie łożyska na wale [46]

Rozpatrywany zbiór cech

Określenie odpowiedniego sposobu ustalenia łożyska na wale oraz w oprawie dla wyznaczonej grupy rozwiązań (tab.6.1 i 6.2) opiera się na rozpatrzeniu następujących cech konstrukcyjnych oraz cech obiektu:

1. **Główna powierzchnia oporowa - wał:** *pierścień osadczy sprężynujący; odsadzenie wału; odsadzenie kołnierza tulei; brak;*

Główna powierzchnia oporowa stanowi powierzchnię, o którą opiera się pierścień wewnętrzny łożyska podczas montażu na wale.

2. **Pomocnicza powierzchnia oporowa - wał:** *nakrętka łożyskowa; krążek zabezpieczający; pierścień osadczy sprężynujący; pierścień osadczy; nakrętka specjalna; tuleja dystansowa; brak;*

Powierzchnia pomocnicza rozumiana jest jako powierzchnia *zamykająca*, która wspólnie z główną powierzchnią oporową zapewnia ustalenie pierścienia wewnętrznego łożyska.

3. **Główna powierzchnia oporowa - oprawa:** *pierścień osadczy sprężynujący; odsadzenie w korpusie; brak;*

Główna powierzchnia oporowa stanowi powierzchnię, o którą opiera się pierścień zewnętrzny łożyska podczas jego montażu w oprawie.

Konfiguracja	Opis i charakterystyka
UW 01	Łożysko osadzone z wciskiem na wale, ustalone jednostronnie poprzez stopień wału lub kołnierz tulei (rys.6.6a; f)
UW 02	Ustalenie łożyska za pomocą nakrętki łożyskowej i odsadzenia wału lub kołnierza tulei (rys.6.6b; g)
UW 03	Ustalenie łożyska za pomocą nakrętki łożyskowej i pierścienia osadczego sprężynującego (rys.6.6c; h)
UW 04	Ustalenie łożyska za pomocą pierścieni osadczych sprężynujących i odsadzenia wału lub kołnierza tulei (rys.6.6d; i)
UW 05	Ustalenie dwustronne za pomocą pierścieni osadczych sprężynujących (rys.6.6e; j)
UW 06	Ustalenie dwustronne za pomocą pierścieni osadczych (rys.6.6k; n)
UW 07	Ustalenie łożyska za pomocą tulei dystansowych i odsadzenia wału (rys.6.6l; o)
UW 08	Jednostronne ustalenie łożyska za pomocą nakrętki łożyskowej (rys.6.6m; p)
UW 09	Ustalenie łożyska za pomocą krążka zabezpieczającego i odsadzenia wału (rys.6.6r)
UW 10	Ustalenie łożyska za pomocą nakrętki specjalnej i odsadzenia wału (rys.6.6s)

Tab. 6.1. Rozwiązania ustalenia łożysk na wale [45]

4. **Pomocnicza powierzchnia oporowa - oprawa:** *pokrywa łożyskowa; brak;*

Powierzchnia pomocnicza rozumiana jest jako powierzchnia *zamykająca*, która wspólnie z główną powierzchnią oporową zapewnia ustalenie pierścienia zewnętrznego łożyska w oprawie.

5. **Złożoność:** *duża; średnia; mała;*

Cecha związana z liczbą użytych elementów potrzebnych do właściwego ustalenia łożyska na wale, jak również liczbą wymaganych operacji obróbczych, koniecznych do wykonania odpowiednich części wału dla zapewnienia posadowienia łożyska.

6. **Położenie segmentu:** *końcowy; pośredni;*

Cecha określa położenie segmentu wału. Segment rozumiany jest jako czop łożyskowy, powierzchnia swobodna itd.

7. **Warunki działania:** *ciężkie; średnie; lekkie;*

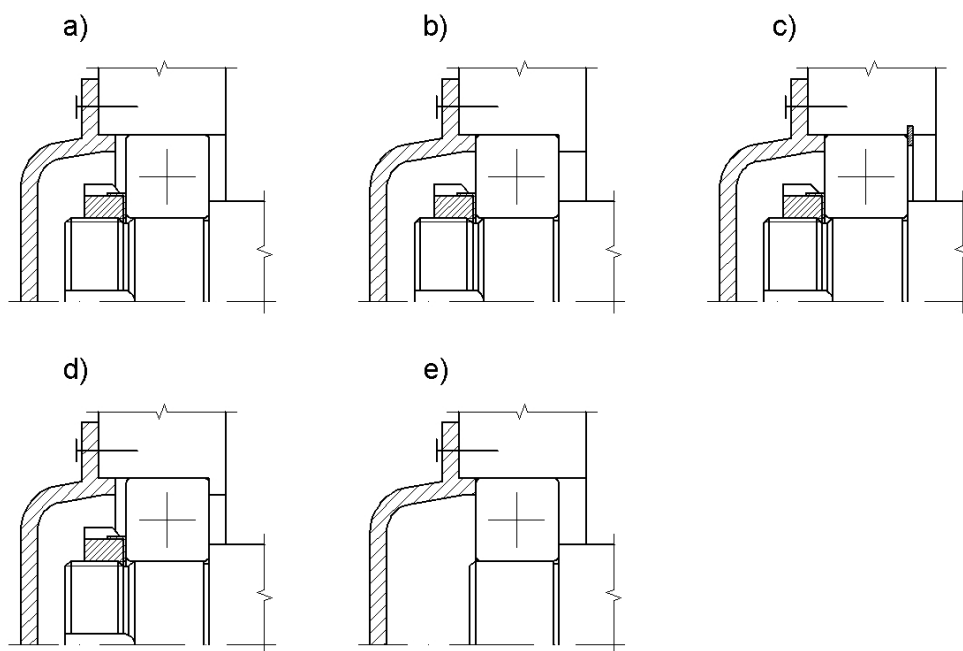
Określa warunki działania wpływające na stan obciążenia elementów ustalających łożysko na wale.

8. **Rola łożyska:** *swobodne; ustalające;*

Określa charakter węzła łożyskowego.

Konfiguracja	Opis i charakterystyka
UO 01	Osadzenie łożyska w oprawie z luzem bez elementów ustalających pierścieni zewnętrzny (rys.6.7a)
UO 02	Osadzenie dwustronne łożyska poprzez odsadzenie w oprawie i docisk pokrywy zamykającej (rys.6.7b)
UO 03	Osadzenie łożyska za pomocą pierścienia osadczego sprężynującego i docisk pokrywy zamykającej (rys.6.7c)
UO 04	Osadzenie jednostronne łożyska w korpusie (rys.6.7d)
UO 05	Osadzenie jednostronne łożyska za pomocą docisku pokrywy łożyskowej (rys.6.7e)

Tab. 6.2. Rozwiązania ustalenia łożysk w oprawie [45]



Rys. 6.7. Ustalenie osiowe łożysk tocznych w oprawie [46]

9. **Sposób ustalenia w kierunku osiowym:** *ustalenie na wale i w oprawie; ustalenie na wale i nie ustalone w oprawie; nie ustalone na wale i ustalone w oprawie;*
10. **Obciążenie wzdłużne:** *bardzo duże; duże; średnie; małe; brak;*
Wyznacza poziom obciążenia wzdłużnego działającego na układ.
11. **Rodzaj obciążenia:** *stałe; zmienne;*
Charakteryzuje stan obciążenia determinujący warunki działania.
12. **Wirowanie obciążenia:** *pierścień wewnętrzny; pierścień zewnętrzny; pierścień wewnętrzny i zewnętrzny;*
Określa rodzaj obciążenia łożyska. Rozpatrywane wartości cechy uwzględniają wirowanie obciążenia względem pierścienia wewnętrznego, zewnętrznego lub obu przypadków.

Relacje pomiędzy cechami

Przedstawione powyżej cechy tworząc strukturę hierarchiczną definiują wzajemne relacje pomiędzy cechami. Wartości cech nadrzędnych (rodziców) określane są na podstawie cech podrzędnych (dzieci). Na rysunku 6.8 przedstawiono strukturę zadania mającego na celu dobór określonego rozwiązania dla ustalenia łożyska na wale i w oprawie.



Rys. 6.8. Relacje pomiędzy cechami - ustalenie osiowe łożyska

6.3.4. Rozwiązania łożyskowania wałów maszynowych

Analizując dane zawarte w literaturze oraz katalogi rozwiązań łożyskowania wałów stosowane w różnych układach maszyn [29], [37], [100] stwierdzono, iż można wyróżnić pewne charakterystyczne, powtarzające się rozwiązania. Przedstawione informacje pozwoliły wyznaczyć grupę 13 typowych konfiguracji przedstawionych na rysunku 6.9. Właściwości i opis poszczególnych rozwiązań przedstawiono w tabeli 6.3.

Rozpatrywany zbiór cech

Na podstawie przedstawionych założeń wyznaczono grupę cech obiektu i ich wartości, wpływających na wybór określonego rozwiązania układu łożyskowania wału.

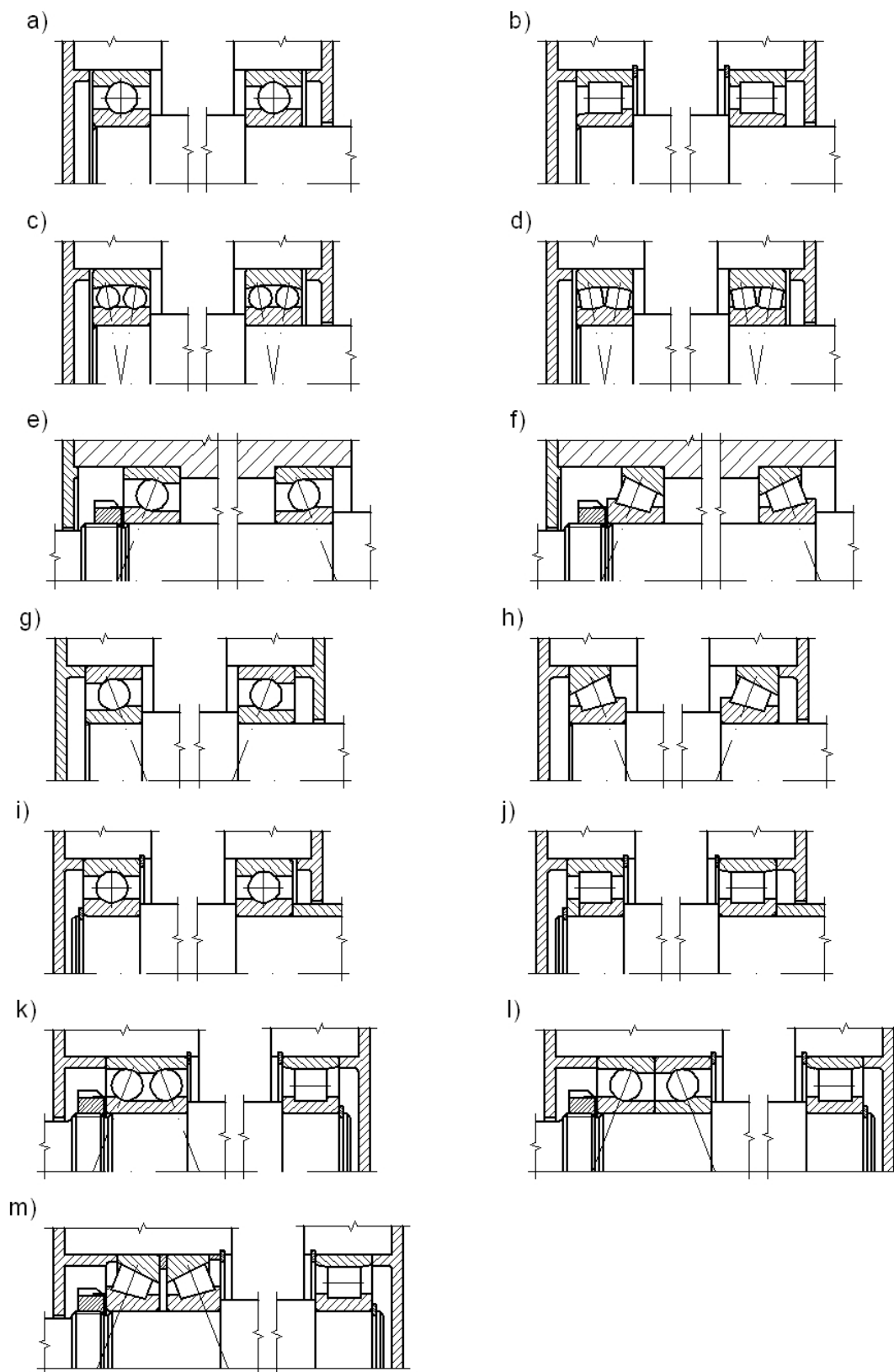
Rozpatrywane cechy i ich wartości:

1. **Układ łożyskowania:** *łożysko swobodne - łożysko swobodne; łożysko swobodne - łożysko ustalające; łożysko ustalające - łożysko ustalające;*

Informacje dotyczące układu łożyskowania zawarto w rozdziale 6.3.1.

2. **Konfiguracja łożysk:** *KL 01; KL 02; KL 03; KL 04; KL 05; KL 06; KL 07; KL 08; KL 09; KL 10; inne;*

Konfiguracje łożysk stanowią ustalone, rozpatrywane pary łożysk zastosowane w dwóch węzłach łożyskowych wału. W tabeli 6.4 przedstawiono informacje dotyczące typów łożysk tocznych stosowanych dla odpowiednich konfiguracji. Wartość cechy *inne* odpowiada sytuacji kiedy wybrane dwa typy łożysk nie można zaklasyfikować do żadnej z grup.



Rys. 6.9. Rozpatrywane rozwiązania układów łożyskowania wałów [45]

Konfiguracja	Opis i charakterystyka
RUL 01	Z luzem osiowym, przesuw łożysk na zewnętrznej powierzchni pierścienia zewnętrznego (rys.6.9 a)
RUL 02	Z luzem osiowym, przesuw wału na bieźniach łożysk (rys.6.9 b)
RUL 03; 04	Wahliwe z luzem osiowym, przesuw na zewnętrznej powierzchni pierścienia zewnętrznego (rys.6.9 c; d)
RUL 05; 06	Układ O bez luzu lub z napięciem wstępnym (rys.6.9 e; f)
RUL 07; 08	Układ X bez luzu lub z napięciem wstępnym (rys.6.9 g; h)
RUL 09	Ustalenie w jednej podporze, przesuw w drugiej na powierzchni pierścienia zewnętrznego (rys.6.9 i)
RUL 10	Ustalenie osiowe w jednej podporze, przesuw na bieźni łożyska w drugiej (rys.6.9 j)
RUL 11	Ustalenie osiowe w jednej podporze, przesuw na bieźni łożyska w drugiej (rys.6.9 k)
RUL 12; 13	Ustalenie osiowe z regulowanym luzem lub napięciem wstępnym w układach O lub X w jednej podporze, przesuw na bieźni łożyska w drugiej (rys.6.9 l; m)
inne	Pozostałe nie rozpatrywane przypadki

Tab. 6.3. Opis grupy przyjętych rozwiązań układów łożyskowania [45]

Konfiguracja	Zastosowana para łożysk
KL 01	kulkowe zwykłe - kulkowe zwykłe
KL 02	walcowe typ NJ - walcowe typ NJ
KL 03	wahliwe - wahliwe
KL 04	baryłkowe dwurzędowe - baryłkowe dwurzędowe
KL 05	kulkowe skośne jednorzędowe - kulkowe skośne jednorzędowe
KL 06	stożkowe - stożkowe
KL 07	walcowe typ NUP - walcowe typ NU
KL 08	kulkowe skośne dwurzędowe - walcowe typ N
KL 09	kulkowe skośne jednorzędowe (2szt.) - walcowe typ N
KL 10	stożkowe (2szt.) - walcowe typ N

Tab. 6.4. Konfiguracje łożysk w węzłach

3. **Ustalenie osiowe - węzeł 1 i 2:** *UOL 01; UOL 02; UOL 03; UOL 04; UOL 05; UOL 06; UOL 07; inne;*

Analiza stosowanych sposobów ustalenia łożyska na wale i w oprawie pozwoliła na wyznaczenie kilku najczęściej stosowanych konfiguracji. Przedstawione modele UOL 01 ÷ 07 stanowią złożenie poszczególnych rozwiązań ustalenia łożyska na wale (tab.6.1) oraz w oprawie (tab.6.2). Stosowane rozwiązania zostały scharakteryzowane w tabeli 6.5. Wartość *inne* odpowiada przypadkom nie objętym konfiguracjami UOL 01 ÷ 07.

4. **Złożoność:** *duża; średnia; mała;*

Złożoność konkretnego rozwiązania związana jest przede wszystkim z liczbą zastosowanych elementów przewidzianych do realizacji wybranego typu łożyskowania. Przewidziany czynnik ma również odzwierciedlenie w problemach związanych z montażem i demontażem.

5. **Graniczna prędkość obrotowa:** *bardzo duża; duża; średnia; mała;*
Określa wymagany poziom prędkości obrotowej wału.
6. **Stosunek przenoszonego obciążenia wzdłużnego do poprzecznego:** *duży; średni; mały; bardzo mały;*
Czynnik określający wzajemną zależność pomiędzy obciążeniem wzdłużnym i poprzecznym.
7. **Nośność dynamiczna w stosunku do rozmiarów łożyska:** *bardzo duża; duża; średnia; mała;*
Określa parametry eksploatacyjne stosowanych łożysk tocznych.
8. **Położenie obciążenia poprzecznego:** *między podporami; poza podporami; między i poza podporami;*
Czynnik odgrywa decydującą rolę przy doborze odpowiedniej konfiguracji O lub X przy łożyskowaniu wału na łożyskach skośnych lub stożkowych.
9. **Układ łożysk:** *X; O; inny;*
Układ łożysk definiowany jest na podstawie położenia obciążenia poprzecznego. I tak w przypadku gdy obciążenie poprzeczne działa pomiędzy podporami zaleca się użycie układu X. Natomiast w przypadku gdy obciążenie poprzeczne działa poza podporami jak również przy jednoczesnym działaniu między i poza podporami zaleca się użycie układu O. Układ oznaczony jako *inny* przeznaczony jest dla pozostałych łożysk, które nie umożliwiają stosowania układów X lub O [32].

Relacje pomiędzy cechami

Wzajemne zależności pomiędzy wyznaczonymi cechami opisującymi typowe rozwiązania układów łożyskowania wałów tworzą strukturę przedstawioną na rysunku 6.10.

Konfiguracja	Węzły łożyskowe	
	Węzeł nr 1	Węzeł nr 2
UOL 01	UW 01 + UO 01	UW 01 + UO 01
UOL 02	UW 01 + UO 03	UW 01 + UO 03
UOL 03	UW 08 + UO 04	UW 01 + UO 04
UOL 04	UW 01 + UO 05	UW 01 + UO 05
UOL 05	UW 04 + UO 03	UW 07 + UO 01
UOL 06	UW 04 + UO 03	UW 07 + UO 03
UOL 07	UW 02 + UO 03	UW 04 + UO 03

Tab. 6.5. Konfiguracje ustalenia osiowego łożysk w węzłach



Rys. 6.10. Struktura podzadania - przykłady rozwiązań łożyskowania wałów

6.4. Budowa podsięci

Opisane w rozdziale zagadnienia przedstawiają budowę sieci przekonań reprezentujących poszczególne modele podzadań wyznaczonych w procesie dekompozycji (roz.5.2.1).

Budowa sieci przeprowadzona jest w oparciu o struktury opracowane dla rozpatrywanych podzadań i przedstawionych w rozdziale 5.2.2. Węzły sieci przekonań odpowiadają poszczególnym cechom rozpatrywanym przy opisie określonego podzadania. Zestaw stwierdzeń (stanów) węzła sieci przyjmuje wartości przyporządkowane odpowiednim cechom konstrukcyjnym oraz cechom projektowanego obiektu.

Wynikiem działań opisanych w niniejszym rozdziale jest wyznaczenie grupy czterech sieci przekonań reprezentujących odpowiednio:

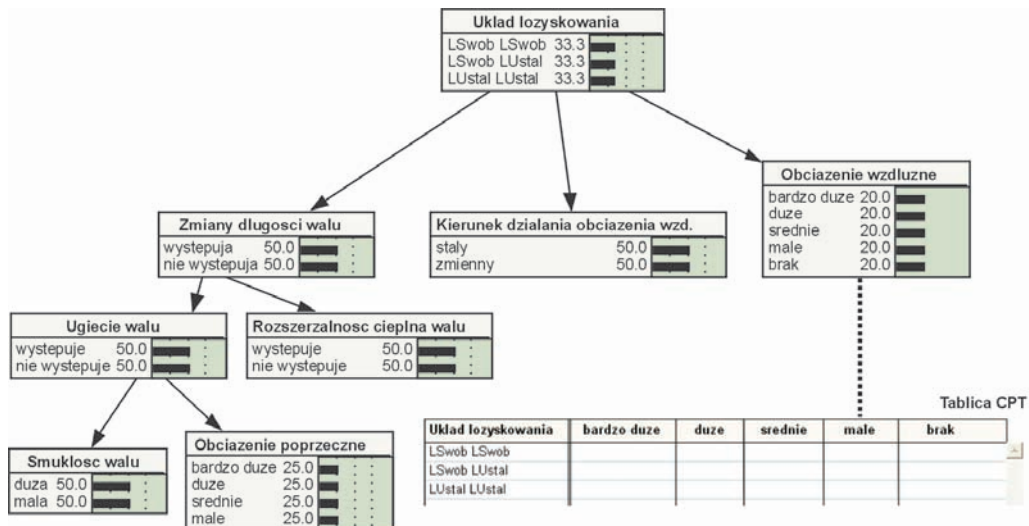
- model optymalnego sposobu łożyskowania wału,
- model optymalnego typu łożyska tocznego,
- model optymalnego ustalenia osiowego łożyska na wale i w oprawie,
- model optymalnego rozwiązania układu łożyskowania wałów maszynowych.

Całość działań związanych z budową sieci przekonań, przeprowadzono w oparciu o narzędzia oprogramowania Netica 2.06 [74].

Wartości stopni przekonania dla poszczególnych zestawów stwierdzeń węzłów budowanych sieci (rys.6.11, 6.12, 6.13, 6.14) przyjmują równe wartości określone w procentach. Wartości przyjmowane są domyślnie przez stosowane oprogramowanie (Netica) w przypadku braku zdefiniowanych tablic CPT.

6.4.1. Układ łożyskowania

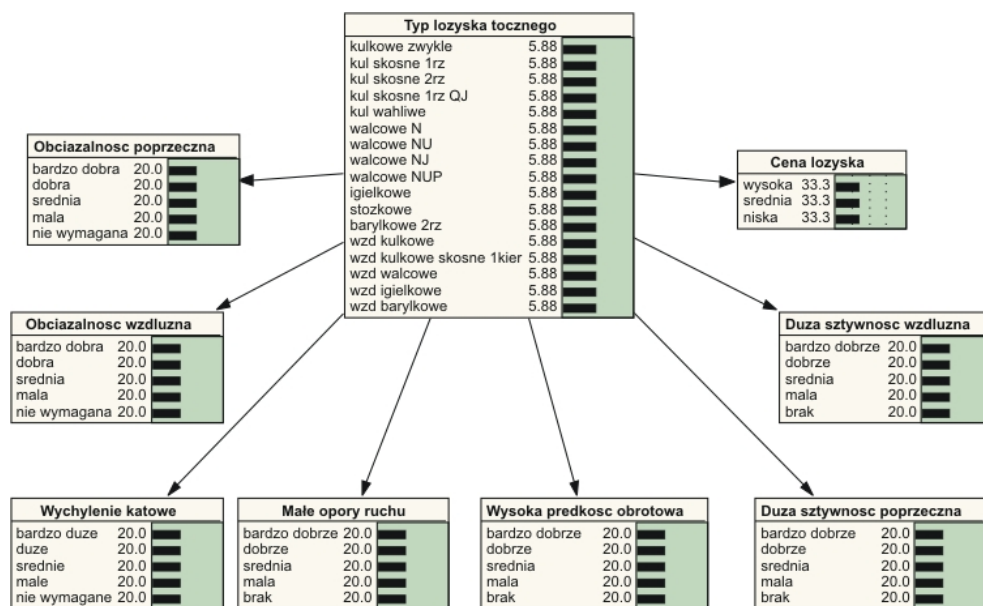
W oparciu o wyznaczoną grupę cech opisującą podzadania związane z określeniem sposobu łożyskowania wału (roz.6.3.4) oraz posługując się wyznaczonym schematem zależności pomiędzy odpowiednimi cechami (roz.6.2) zbudowano sieć przekonań przedstawioną na rysunku 6.11.



Rys. 6.11. Sieć przekonań - układ łożyskowania wału

6.4.2. Typ łożyska tocznego

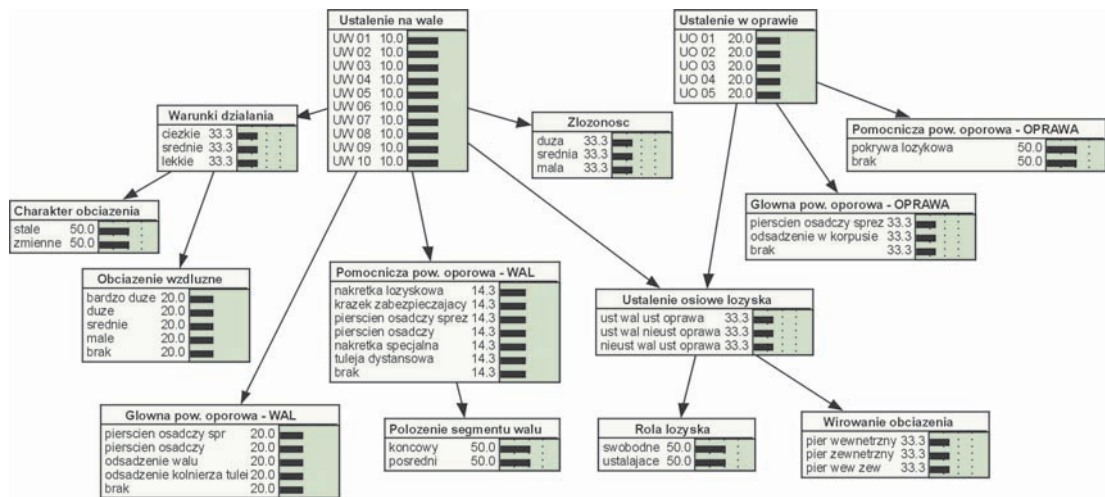
Wyznaczona grupa cech (roz.6.3.2) oraz układ zależności pomiędzy poszczególnymi cechami przedstawionymi na rysunku (roz.6.4) dla podzadania związanego z określeniem typu łożyska tocznego pozwala na budowę sieci przekonań przedstawioną na rysunku 6.12.



Rys. 6.12. Sieć przekonań - typ łożyska tocznego

6.4.3. Ustalenie osiowe łożyska

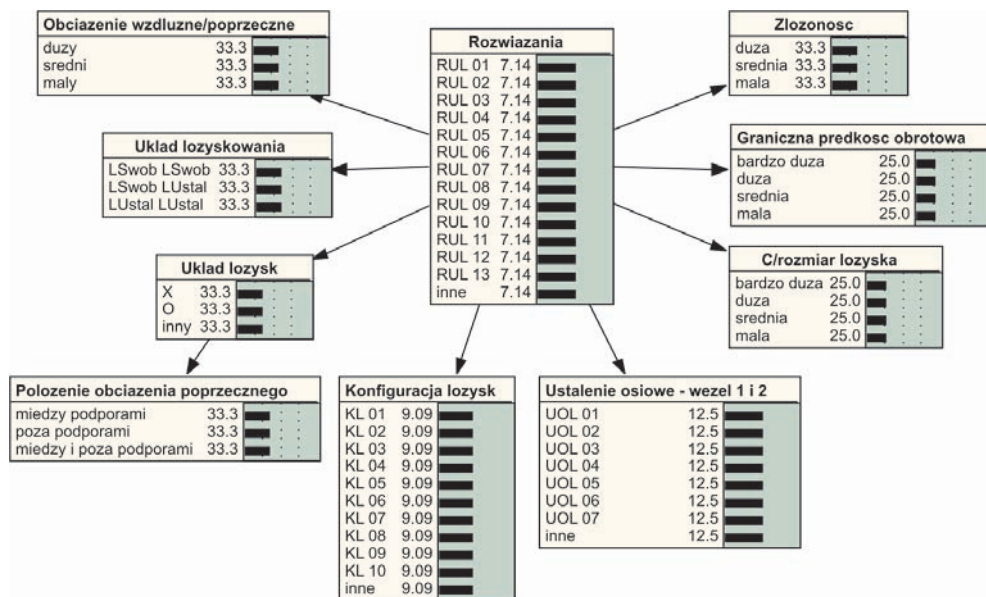
Dla zadania związanego z określeniem sposobu ustalenia łożyska na wale i w oprawie zbudowano sieć przekonań przedstawioną na rysunku 6.13. Poszczególne węzły i zestawy stwierżeń wyznaczono na podstawie grupy rozpatrywanych cech (roz.6.3.3), natomiast struktura sieci odpowiada schematowi podanemu na rysunku 6.8.



Rys. 6.13. Sieć przekonań - ustalenie osiowe łożyska na wale i w oprawie

6.4.4. Rozwiązania łożyskowania wałów maszynowych

Rozpatrywana grupa typowych rozwiązań łożyskowania wałów maszynowych (rys.6.9) opisana za pomocą wyznaczonych cech oraz ich wartości jak również struktura takiego modelu (rys.6.10) pozwala na zdefiniowanie sieci przekonań przedstawionej na rysunku 6.14.



Rys. 6.14. Sieć przekonań - typowe rozwiązania łożyskowania wału

6.5. Łączenie podsięci

Celem procesu łączenia podsięci jest otrzymanie złożonego modelu łożyskowania wału poprzez definicję połączeń poszczególnych modeli wyznaczonych podzadani (roz.6.4). Realizacja procesu łączenia podsięci polega na określeniu gałęzi skierowanych pomiędzy odpowiednimi węzłami łączonych podsięci przekonań. Odpowiednie połączenia pomiędzy węzłami sieci przekonań zostały zdefiniowane w tabeli 6.6.

L.p.	Sieć : Węzeł - I	Sieć : Węzeł - II
1	RŁWM:Układ łożyskowania	UŁ:Układ łożyskowania
2	RŁWM:Konfiguracja łożysk	TŁT:Typ łożyska tocznego 1 TŁT:Typ łożyska tocznego 2
3	RŁWM:Ustalenie osiowe - węzeł 1 i 2	UOŁ:Ustalenie na wale 1 UOŁ:Ustalenie na wale 2 UOŁ:Ustalenie w oprawie 1 UOŁ:Ustalenie w oprawie 2
RŁWM - rozwiązania łożyskowania wałów maszynowych; UŁ - układ łożyskowania; TŁT - typ łożyska tocznego; UOŁ - ustalenie osiowe łożyska		

Tab. 6.6. Łączenie węzłów sieci przekonań

Dla przypadku nr 1. (tab.6.6), ze względu na występującą redundancję węzła *Układ łożyskowania* założono jego usunięcie z jednej z łączonych sieci przekonań. Unika się w ten sposób powtarzania tych samych węzłów dla dwóch różnych podsieci. Działanie takie nie powoduje powstania jakichkolwiek sprzeczności w strukturze łączonych podsieci.

Postać sieci przekonań reprezentującej model łożyskowania wałów przedstawiono na rysunku 7.1.

6.6. Uczenie sieci przekonań

Otrzymana w wyniku łączenia (roz.6.5) sieć przekonań reprezentująca model projektowanego łożyskowania wałów zawiera fragmentaryczną wiedzę o dziedzinie, poszczególne tabele prawdopodobieństw warunkowych nie zostały zidentyfikowane. W niniejszym rozdziale znajduje się opis czynności związanych z uczeniem otrzymanej sieci przekonań na bazie wygenerowanych przykładów uczących pozyskanych z określonej grupy źródeł wiedzy.

Całość działań związana z prowadzonym procesem uczenia sieci została zrealizowana z wykorzystaniem oprogramowania Netica 2.06 [74]. Algorytm uczący opierał się metodzie L&S (ang. Lauritzen & Spiegelhalter Method) opisanym w [48], [104]. Prócz metod automatycznych prowadzonych w oparciu o przykłady uczące wykorzystano również manualny sposób definiowania zawartości tabel CPT (roz.5.3).

6.6.1. Źródła wiedzy

W prowadzonych badaniach wykorzystano źródła wiedzy związane z zagadnieniami projektowania i konstruowania węzłów łożyskowych, mianowicie:

- literaturę fachową [29], [45], [90], [100], [101],
- dokumentację konstrukcyjną,
- wywiady z projektantami.

Proces pozyskiwania wiedzy został usprawniony poprzez zastosowanie formularzy dotyczącymi wyznaczonej grupy podzadań. Tak opracowane formularze pozwoliły w dalszym etapie na zapis określonych przykładów uczących. Opracowane formularze wykorzystane w procesie pozyskiwania przykładów uczących zamieszczono w Załączniku A.

Pola formularza odpowiadają rozpatrywanej grupie cech reprezentowanych przez węzły sieci przekonań. Wartości cech dobierane są z listy odpowiednich wartości lingwistycznych. Założono również, przypadek braku wartości określonej cechy w rozpatrywanym przykładzie. Przypisywana waga dla pozyskanego przykładu oszacowana jest na podstawie stażu pracy określonego specjalisty. Wartość ta jest również stosowana w przypadku pozyskiwania wiedzy na podstawie literatury fachowej oraz dokumentacji konstrukcyjnej dla zwiększenia liczebności zbioru danych.

6.6.2. Przykłady uczące

Pozyskane przykłady uczące wykorzystano dla wszystkich rozpatrywanych podzadań modelu łożyskowania wału reprezentowanego za pomocą zbudowanej sieci przekonań.

Pozyskane za pomocą formularzy przykłady przekształcono do formatu plików (rys.6.15) wymaganych przez oprogramowanie Netica [74]. Następnie wykorzystując odpowiednie narzędzia programowe przeprowadzono proces uczenia.

Kompletny zestaw danych uczących wykorzystywanych do uczenia sieci zamieszczono w Załączniku B.

IDnum	NumCases	ObcWzd	ZmianyDlugosciWalu	KierunekObcWzd	UkladLozyskowaniaWalu
1	10	male	wystepuja	staly	LSwob_LSwob
2	8	srednie	wystepuja	staly	LSwob_LUstal
3	6	duze	wystepuja	zmienny	LSwob_LUstal
4	8	male	nie_wystepuja	staly	LSwob_LSwob
5	8	duze	nie_wystepuja	staly	LSwob_LUstal
6	10	bardzo_duze	nie_wystepuja	zmienny	LUstal_LUstal
7	10	duze	nie_wystepuja	zmienny	LUstal_LUstal

Rys. 6.15. Przykładowy zestaw przykładów uczących - układ łożyskowania

W przypadku rozpatrywanej grupy cech związanych z ceną zastosowanego łożyska tocznego, jak również określeniem złożoności określonego rozwiązania, koniecznym stało się przeprowadzenie przekształcenia zbioru cech ilościowych do postaci cech jakościowych. Analiza zbioru cech ilościowych pozwoliła na określenie progów kwantowania.

Wyznaczenie przedziałów kwantowania i kodowanie wartości cech przeprowadzono w następujących etapach:

- wyznaczenie wartości maksymalnej analizowanego zbioru wartości cechy,
- podział równomierny na ustaloną wcześniej liczbę przedziałów odpowiadającą wyznaczonej liczbie wartości lingwistycznych,
- zamiana wartości cech ilościowych na jakościowe na podstawie przynależności do określonego przedziału.

Wyznaczone przedziały kwantyzacji oraz odpowiadające im wartości lingwistyczne zawarto w Załączniku C.

6.6.3. Tablice prawdopodobieństw warunkowych

Przeprowadzenie uczenia sieci przekonań pozwala na wyznaczenie poszczególnych tablic prawdopodobieństw warunkowych. Przykładową tablicę CPT reprezentującą zależność

$$P(\text{Obciążenie poprzeczne} | \text{Ugięcie wału}) \quad (6.1)$$

zamieszczono na rysunku 6.16. Poszczególne wartości prawdopodobieństw warunkowych (w %) wyznaczono w procesie uczenia sieci przekonań na bazie przykładów uczących.

Ugięcie wału	Obciążenie poprzeczne			
	bardzo duże	duże	średnie	małe
występuje	39.474	39.474	18.421	2.632
nie występuje	3.846	3.846	34.615	57.692

Rys. 6.16. Tablica prawdopodobieństw warunkowych CPT

Otrzymane wartości prawdopodobieństw warunkowych można zapisać jako:

$$P(\text{Obciążenie poprzeczne}=\textit{bardzo duże} | \text{Ugięcie wału}=\textit{występuje})= 0.395$$

$$P(\text{Obciążenie poprzeczne}=\textit{duże} | \text{Ugięcie wału}=\textit{występuje})= 0.395$$

$$P(\text{Obciążenie poprzeczne}=\textit{średnie} | \text{Ugięcie wału}=\textit{występuje})= 0.184$$

$$P(\text{Obciążenie poprzeczne}=\textit{małe} | \text{Ugięcie wału}=\textit{występuje})= 0.026$$

$$P(\text{Obciążenie poprzeczne}=\textit{bardzo duże} | \text{Ugięcie wału}=\textit{nie występuje})= 0.038$$

$$P(\text{Obciążenie poprzeczne}=\textit{duże} | \text{Ugięcie wału}=\textit{nie występuje})= 0.038$$

$$P(\text{Obciążenie poprzeczne}=\textit{średnie} | \text{Ugięcie wału}=\textit{nie występuje})= 0.347$$

$$P(\text{Obciążenie poprzeczne}=\textit{małe} | \text{Ugięcie wału}=\textit{nie występuje})= 0.577$$

Dla wyznaczonych wartości zachodzi zależność:

$$P(\text{Obciążenie poprzeczne}=\textit{*} | \text{Ugięcie wału}=\textit{występuje}) = 1 \quad (6.2)$$

$$P(\text{Obciążenie poprzeczne}=\textit{*} | \text{Ugięcie wału}=\textit{nie występuje}) = 1 \quad (6.3)$$

Wynikową postać otrzymanego modelu projektowanego obiektu reprezentowanego przez zbudowaną sieć przekonań przedstawia rysunek 7.1.

Rozdział 7

Zastosowanie modelu łożyskowania wałów maszynowych

W rozdziale przedstawiono zastosowanie wiedzy inżynierskiej reprezentowanej za pomocą sieci przekonań. Zbudowana sieć przekonań reprezentuje model łożyskowania wału maszynowego. Na podstawie przykładu, określającego grupę danych wejściowych do zadania, dokonano prezentacji zastosowania zbudowanego modelu. Podczas analizy wyników procesu wnioskowania zwrócono uwagę na wyznaczanie wartości wprowadzonej w roz.5.4 *rozzóżnialności stanów* (rów.5.1).

W końcowej części rozdziału przedstawiono wpływ struktury zbudowanej sieci przekonań na opis reprezentowanego modelu projektowanego obiektu. Omówiono korzyści płynące z zaproponowanej struktury oraz możliwości rozbudowy modelu.

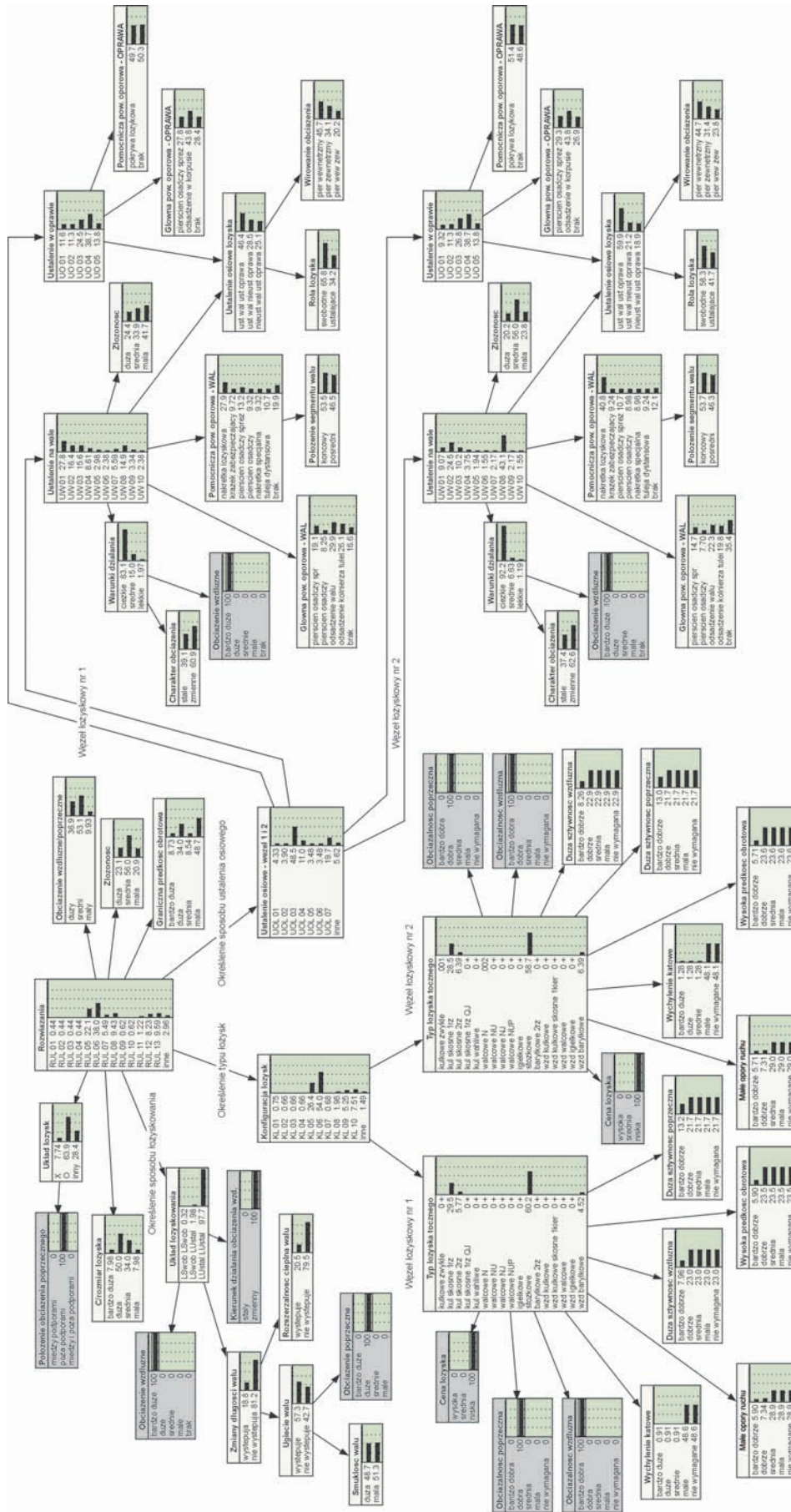
7.1. Dane wejściowe

Z grupy cech decyzyjnych wyznaczono pięć cech pozwalających na zdefiniowanie zbioru danych wejściowych. Wartości przyjmowane przez cechy podano w tabeli 7.1. Wartości poszczegól-

Cecha decyzyjna	Wartość
Obciążenie poprzeczne	duże
Położenie obciążenia poprzecznego	poza podporami
Obciążenie wzdłużne	bardzo duże
Kierunek obciążenia wzdłużnego	zmienny
Cena łożyska	niska

Tab. 7.1. Przykładowe dane wejściowe

gólnych cech charakteryzują wymagania stawiane przez użytkownika, które powinny zostać spełnione przez poszukiwany zbiór rozwiązań.



Rys. 7.1. Model łożyskowania wału maszynowego

7.2. Analiza otrzymanych wyników

Określone wartości węzłów decyzyjnych sieci przekonań wyznaczają wartości węzłów wynikowych określających preferencje rozwiązania rozpatrywanego zadania. Analizie poddano następującą grupę węzłów wynikowych sieci (rys.7.1):

- Układ łożyskowania,
- Typ łożyska tocznego (węzeł 1 i 2),
- Ustalenie osiowe - węzeł 1 i 2.
- Rozwiązania.

Otrzymane wartości stopni przekonania (w %) zestawu stwierdzeń reprezentowanych przez węzły *Układ łożyskowania*, *Typ łożyska tocznego* oraz *Ustalenie osiowe - węzeł 1 i 2* podano w tabelach 7.2, 7.3, 7.4.

Układ łożyskowania	Wartość
Łoż. swobodne - Łoż. swobodne	0,32
Łoż. swobodne - Łoż. ustalające	1,98
Łoż. ustalające - Łoż. ustalające	97,7

Tab. 7.2. Wynikowe stopnie przekonania: *Układ łożyskowania*

Typ łożyska	Ł1	Ł2
kulkowe zwykłe	0+	0,001
kul. skośne 1rz.	29,5	28,5
kul. skośne 2rz.	5,77	6,39
kul. skośne 1rz. QJ	0+	0+
kul. wahliwe	0+	0+
walcowe N	0+	0,002
walcowe NU	0+	0+
walcowe NJ	0+	0+
walcowe NUP	0+	0+
igiełkowe	0+	0+
stożkowe	60,2	58,7
baryłkowe 2rz.	0+	0+
wzd. kulkowe	0+	0+
wzd. kul. skośne 1kier.	0+	0+
wzd. walcowe	0+	0+
wzd. igiełkowe	0+	0+
wzd. baryłkowe	4,52	6,39

Tab. 7.3. Wynikowe stopnie przekonania: *Typ łożyska tocznego*

Ustalenie osiowe	Konfiguracja
UOL 01	4,33
UOL 02	3,90
UOL 03	48,5
UOL 04	11,0
UOL 05	3,48
UOL 06	3,48
UOL 07	19,7
inne	5,62

Tab. 7.4. Wynikowe stopnie przekonania: *Ustalenie osiowe - węzeł 1 i 2*

W oparciu o wyniki przedstawione w tab.7.2 dotyczące określenia preferowanego układu łożyskowania wału stwierdza się, iż największa wartość stopnia przekonania odnosi się do konfiguracji *łożysko ustalające - łożysko ustalające*. Otrzymany stopień przekonania przyjmuje wartość 99,1%. Wprowadzając miarę rozróżnialności stanów otrzymano wartości przedstawione w tabeli 7.5.

Układ łożyskowania	ł.ust.-ł.ust.
Łoż. swobodne - Łoż. swobodne	97
Łoż. swobodne - Łoż. ustalające	95
Łoż. ustalające - Łoż. ustalające	-

Tab. 7.5. Miara rozróżnialności stanów: *układ łożysko ustalające - łożysko ustalające*

Wartość RS oszacowana dla wszystkich rozpatrywanych przypadków pozwala jednoznacznie stwierdzić, iż przyjęte rozwiązanie układu łożyskowania jest prawidłowe. Wartość RS we wszystkich rozpatrywanych przypadkach jest większa od wartości granicznej ($RS_{gr} \geq 25\%$), co pozwala na jednoznaczne wskazanie preferowanego rozwiązania.

W przypadku analizy poszukiwanego typu łożyska tocznego (tab.7.3) stwierdza się, iż największa wartość stopnia przekonania została oszacowana dla łożyska stożkowego. Do potwierdzenia słuszności decyzji posłużono się oszacowaniem miary RS, której wartości (tab.7.6) dla rozpatrywanych przypadków łożysk osiąga wartość graniczną.

Wyznaczony typ łożysk pozwala na określenie konfiguracji pary łożysk na podstawie węzła *Konfiguracja łożysk* (rys.7.1). Wartości stopni przekonania dla poszczególnych konfiguracji zawarto w tab.7.7.

Wartości podane w tabeli 7.7 pozwalają jednoznacznie wskazać rozwiązanie *KL 06* jako preferowaną konfigurację stosowaną w analizowanym przypadku. Minimalna wartość miary rozróżnialności stanów wynosi 85% uznana za potwierdzenie słuszności przyjętego rozwiązania.

Węzeł sieci przekonania *Ustalenie osiowe - węzeł 1 i 2* wskazuje, iż największa wartość stopnia przekonania została oszacowana dla konfiguracji *UOL03*. Wartość miary RS (tab.7.8) nie pozwala na jednoznaczne wskazanie preferowanego rozwiązania, gdyż nie przekracza wartości granicznej pozwalającej na odróżnienie rozwiązań UOL 03 i UOL 07.

Na podstawie podjętych decyzji określających zastosowany układ łożyskowania wału oraz wybraną konfigurację łożysk wyznaczono stopnie przekonania dla grupy rozwiązań łożyskowania wałów maszynowych reprezentowaną przez węzeł *Rozwiązania* (rys.7.1).

Typ łożyska	stożkowe	
	Ł1	Ł2
kulkowe zwykłe	60	58
kul. skośne 1rz.	30	30
kul. skośne 2rz.	54	52
kul. skośne 1rz. QJ	60	58
kul. wahliwe	60	58
walcowe N	60	58
walcowe NU	60	58
walcowe NJ	60	58
walcowe NUP	60	58
igiełkowe	60	58
stożkowe	-	-
baryłkowe 2rz.	60	58
wzd. kulkowe	60	58
wzd. kul. skośne 1kier.	60	58
wzd. walcowe	60	58
wzd. igiełkowe	60	58
wzd. baryłkowe	56	52

Tab. 7.6. Miara rozróżnialności stanów: łożysko stożkowe

Podane w tabeli 7.9 wartości stopnia przekonania grupy rozwiązań łożyskowania wałów maszynowych wskazują, że preferowanym rozwiązaniem jest *RUL 06*. Wartość miary RS dla *RUL 06* jako rozwiązania przyjmuje wartość większą od wartości granicznej dla wszystkich analizowanych przypadków (tab.7.10).

Podjęcie decyzji o przyjęciu rozwiązania *RUL 06* powoduje zmianę wartości w węźle *Ustalenie osiowe - węzeł 1 i 2*. W analizowanym przypadku preferowanym rozwiązaniem jest *UOL 03*, dla którego najmniejsza wartość miary RS wynosi 69%, co potwierdza słuszność wyboru takiego rozwiązania.

7.3. Podsumowanie

Zastosowanie modelu dla przykładowej grupy danych wejściowych wykazała możliwość wyznaczenia pewnych preferowanych rozwiązań określonego podzadania. Wprowadzona miara określająca rozróżnialność stanów węzłów pozwala na wyznaczenie grupy preferowanych rozwiązań.

Wykazano, że nieliczna grupa danych wejściowych może spowodować trudności w oszacowaniu najlepszego rozwiązania, dla którego przekonanie nie przekracza wartości granicznej. Sytuacja taka zaistniała w przypadku określania sposobu ustalenia osiowego łożysk.

Jednakże w pozostałych podzadaniach tzn. określenia układu łożyskowania wału i typu łożysk tocznych pomimo nielicznego zbioru danych wejściowych (wymagań użytkownika) możliwe stało się określenie preferowanych rozwiązań omawianych podzadań.

Konfiguracja łożysk	ł.stożkowe-ł.stożkowe
KL 01	0,24
KL 02	0,23
KL 03	0,23
KL 04	0,23
KL 05	0,75
KL 06	91,0
KL 07	0,22
KL 08	0,23
KL 09	0,53
KL 10	5,80
inne	0,52

Tab. 7.7. Stopnie przekonania: *Konfiguracja łożysk*

Ustalenie osiowe	Konfiguracja
UOL 01	44
UOL 02	44
UOL 03	-
UOL 04	37
UOL 05	45
UOL 06	45
UOL 07	28
inne	42

Tab. 7.8. Miara rozróżnialności stanów: *Ustalenie osiowe - węzeł 1 i 2; UOL 03*

W zastosowaniach praktycznych modelu łożyskowania wałów maszynowych liczba cech decyzyjnych, których wartości określone są przez użytkownika wynosi 46. Duża liczba cech decyzyjnych pozwala na znaczące ograniczenie przestrzeni poszukiwania i tym samym uzyskanie wyraźnie określonych preferencji przyjęcia określonego rozwiązania.

Rozwiązanie	Wartość
RUL 01	0,26
RUL 02	0,26
RUL 03	0,26
RUL 04	0,26
RUL 05	5,82
RUL 06	64,0
RUL 07	1,44
RUL 08	15,9
RUL 09	0,25
RUL 10	0,25
RUL 11	0,39
RUL 12	4,28
RUL 13	4,28
inne	2,32

Tab. 7.9. Wynikowe stopnie przekonania: *Rozwiązania*

Rozwiązanie	RUL 06
RUL 01	64
RUL 02	64
RUL 03	64
RUL 04	64
RUL 05	58
RUL 06	-
RUL 07	62
RUL 08	48
RUL 09	64
RUL 10	64
RUL 11	64
RUL 12	59
RUL 13	59
inne	61

Tab. 7.10. Miara rozróżnialności stanów: *Rozwiązania; RUL 06*

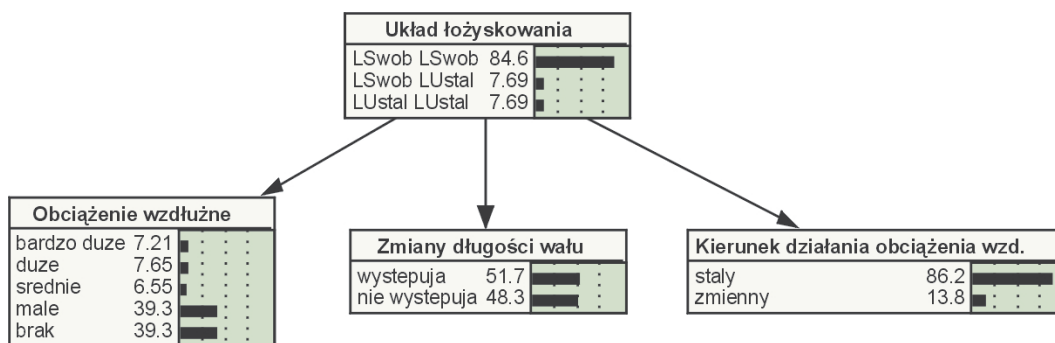
7.4. Analiza topologii sieci przekonań

Tematem rozdziału jest przedstawienie podstawowych zagadnień związanych z wpływem topologii zbudowanej sieci przekonań na działanie reprezentowanego modelu. W szczególności rozpatrzono następujące zagadnienia:

- zależność węzłów podrzędnych (dzieci) posiadających jeden wspólny węzeł nadrzędny (rodzica),
- rozmiar tablicy prawdopodobieństw warunkowych CPT,

7.4.1. Zależność węzłów sieci przekonań

Fragment sieci przekonań, opracowanego modelu projektowanego obiektu, przedstawiony na rysunku 7.2 pozwala na zilustrowanie zależności elementów podrzędnych posiadających jeden wspólny element nadrzędny.



Rys. 7.2. Fragment sieci przekonań

W analizowanym przypadku grupa trzech węzłów: *Obciążenie wzdłużne* (ozn. *OW*), *Kierunek działania obciążenia wzdłużnego* (ozn. *KOW*) i *Zmiany długości wału* (ozn. *DW*) posiada jeden wspólny węzeł nadrzędny *Układ łożyskowania* (ozn. *UŁ*). Zwroty gałęzi skierowanych łączących węzły zdefiniowane są od elementu nadrzędnego do elementów podrzędnych. Prawdopodobieństwo łączne dla rozpatrywanego fragmentu sieci przekonań przedstawia zależność.

$$P(UŁ, OW, DW, KOW) = P(UŁ)P(OW|UŁ)P(DW|UŁ)P(KOW|UŁ) \quad (7.1)$$

Rozpatrywana struktura sieci przekonań (rys.7.2) zapewnia wzajemną zależność poszczególnych elementów podrzędnych. Zmiana jednego z nich powoduje zmiany pozostałych. Omawiana właściwość odzwierciedla sytuację zachodzącą w praktyce. Przykładowo, zmiana wymagań odnoszących się do granicznej prędkości obrotowej pociąga za sobą zmianę wymagań związanych z temperaturą działania łożyska.

7.4.2. Rozmiar tablicy CPT

Rozmiar tablicy prawdopodobieństw warunkowych uzależniony jest od liczby stwierdzeń zdefiniowanych w poszczególnych węzłach jak również przyjętych zwrotów gałęzi skierowanych określających zależności pomiędzy węzłami.

W przypadku sieci pokazanej na rys.7.2 rozmiary tablic prawdopodobieństw warunkowych węzłów podrzędnych wynoszą odpowiednio:

- węzeł *Obciążenie wzdłużne*: $5 * 3 = 15$ elementów,
- węzeł *Zwrot obciążenia wzdłużnego*: $2 * 3 = 6$ elementów,
- węzeł *Zmiany długości wału*: $2 * 2 = 4$ elementy.

Jak wynika z powyższych zależności liczba elementów poszczególnych tablic CPT została wyznaczona jako iloczyn liczby stwierdzeń elementu podrzędnego i elementu nadrzędnego (iloczyn kartezjański zestawu stwierdzeń węzłów).

W przypadku zmiany zwrotów poszczególnych gałęzi skierowanych na przeciwny liczbą elementów tablicy CPT dla węzła *Układ łożyskowania* wyniosłoby odpowiednio $(5 * 2 * 2) * 2 = 40$ elementów.

Przedstawione w rozdziale zagadnienie zwraca uwagę na fakt, iż gałęzie skierowane łączące poszczególne węzły sieci decydują nie tylko o zależności poszczególnych elementów (roz.7.4.1) ale również wpływają bezpośrednio na rozmiar tablic prawdopodobieństw warunkowych. Czynnikiem ten staje się szczególnie istotny jeżeli zachodzi konieczność manualnego definiowania tablic CPT podczas procesu uczenia sieci (roz.6.6).

Rozdział 8

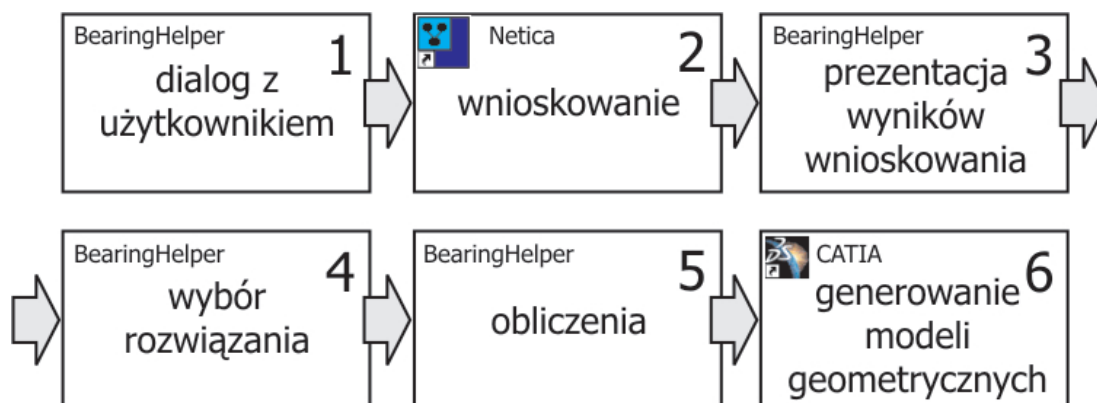
System doradczy oparty na sieci przekonań

Przedstawione w rozdziale 6 zastosowanie sieci przekonań do budowy modelu projektowanego obiektu stało się przesłanką do budowy systemu doradczego *BearingHelper* współdziałającego z wybranym systemem CAD.

8.1. Opis systemu BearingHelper

Podstawowym zadaniem systemu *BearingHelper* jest wspomaganie projektowania węzłów łożyskowych wałów maszynowych. Narzędzie pozwala na integrację systemu CAD i zewnętrznego systemu doradczego bazującego na wykorzystaniu sieci przekonań [15], [57].

Środowiskiem działania systemu *BearingHelper* jest oprogramowanie komputerowego wspomaganie projektowania CATIA V5.12 [24]. Jako aplikację umożliwiającą budowanie sieci przekonań oraz prowadzenie procesu wnioskowania w jej oparciu wykorzystano oprogramowanie Netica 2.06 [74]. Integracja opisanych systemów realizowana jest poprzez wykorzystanie API programu Netica, jako platformę programistyczną wybrano dostępne środowisko Visual Basic for Applications [62].



Rys. 8.1. Działanie aplikacji BearingHelper

Zakres działania systemu obejmuje (rys.8.1):

1. dialog z użytkownikiem,
2. proces wnioskowania,
3. wybór preferowanych rozwiązań,
4. prowadzenie obliczeń,
5. generowanie modeli geometrycznych.

8.1.1. Dialog z użytkownikiem

Prowadzenie dialogu z użytkownikiem ma na celu określenie przez projektanta grupy cech konstrukcyjnych oraz cech projektowanego obiektu (łożyskowania wału).

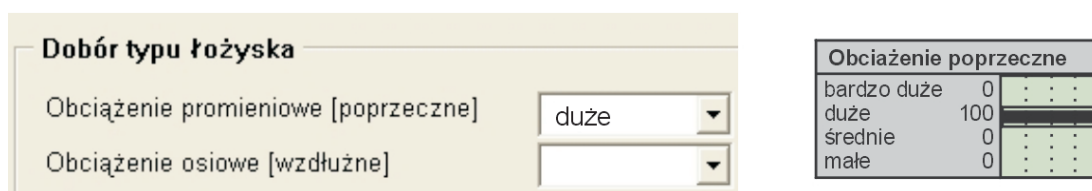
W oknie aplikacji użytkownik określa swoje wymagania wybierając odpowiednie wartości lingwistyczne przyporządkowane grupie cech charakteryzujących poszukiwane rozwiązanie.

Przyjmuje się, że zbiór danych wejściowych może być niekompletny. Należy jednak pamiętać o związku między liczebnością danych wejściowych, a rozmiarem przestrzeni rozpatrywanych rozwiązań.

Na rysunku 8.3 pokazano okno aplikacji *BearingHelper* umożliwiające prowadzenie dialogu z użytkownikiem.

8.1.2. Proces wnioskowania

Proces wnioskowania opiera się o informacje pozyskane od użytkownika podczas prowadzenia dialogu z systemem. Poszczególne wartości cech odpowiadające grupie wymagań przekazywane są do sieci przekonań. Wartość określona przez użytkownika determinuje wartość przyjmowaną przez określony węzeł decyzyjny (rys.8.2). Podczas procesu wnioskowania w tle



Rys. 8.2. Wnioskowanie - system *BearingHelper*

aplikacji uruchamiany jest program Netica, który odpowiedzialny jest za całość działań związanych z siecią przekonań oraz procesem wnioskowania w oparciu o podjęte przez użytkownika decyzje.

BearingHelper 1.0

Dobór typu łożyska

Obciążenie promieniowe [poprzeczne] Zapewnienie niskiego tarcia

Obciążenie osiowe [wzdłużne] Sztywność poprzeczna

Wychylenie kątowe Sztywność wzdłużna

Działanie przy dużej predkości obrotowej Cena

Węzeł łożyskowy nr 1 Węzeł łożyskowy nr 2

Dobór układu łożyskowania

Smukłość wału Złożoność

Rozszerzalność cieplna wału Obciążenie osiowe/promieniowe

Kierunek działania siły osiowej Graniczna prędkość obrotowa

Położenie obciążenia promieniowego Nośność dynamiczna łożyska w stosunku do jego rozmiarów

Układ łożyskowania wyznacz łoż-swob/łoż-swob łoż-swob/łoż-ust łoż-ust/łoż-ust

Ustalenie osiowe łożyska

Główna powierzchnia oporowa Złożoność

Pomocnicza powierzchnia oporowa Rola łożyska

Położenie segmentu łożyskowego Warunki działania łożyska

Rodzaj ustalenia osiowego wyznacz wał-ust/opr-ust wał-ust/opr-nieust wał-nieust/opr-nieust

Węzeł łożyskowy nr 1 Węzeł łożyskowy nr 2

Dialog

Rys. 8.3. Dialog z użytkownikiem - system *BearingHelper*

8.1.3. Wybór preferowanych rozwiązań

Po procesie wnioskowania użytkownik otrzymuje informacje o preferowanych rozwiązaniach dotyczących optymalnego sposobu łożyskowania wału, doboru optymalnego typu łożyska tocznego oraz sposobu osiowego ich ustalenia na wale. Na podstawie posortowanych (od max do min) wartości stopni przekonania węzłów wynikowych, tworzony jest ranking rozwiązań określonego podzadania.

Informacje o podjętych przez użytkownika decyzjach przekazywane są do notatnika aplikacji. Dodatkowo notatnik dostarcza objaśnień związanych z rozpatrywaną grupą modeli rozwiązań poszczególnych podzadań, w szczególności doboru układu łożyskowania i sposobu osiowego ustalenia łożysk na wale i w oprawie.

Okno aplikacji prezentujące wyniki procesu wnioskowania oraz okno notatnika aplikacji przedstawia rysunek 8.4.



Rys. 8.4. Prezentacja wyników wnioskowania - system *BearingHelper*

8.1.4. Obliczenia

Aplikacja umożliwia prowadzenie podstawowych obliczeń związanych z doborem łożysk tocznych. Na podstawie wartości parametrów określających warunki działania łożyska (obciążenie, prędkość obrotowa itd.) wyznaczana jest trwałość godzinowa określonego typu łożyska.

8.1.5. Generowanie modeli geometrycznych

Ostatnim etapem działania systemu jest wygenerowanie modeli geometrycznych elementów projektowanego łożyskowania wału, w szczególności łożysk tocznych oraz elementów ustalających. Ze względu na fakt, iż wszystkie z wymienionych elementów stanowią elementy znormalizowane ich dobór opiera się o przygotowane katalogi. Użytkownik w oparciu o informacje zawarte w oknie notatnika (rys.8.4) dokonuje wyboru elementu o określonych wymiarach.

8.2. Podsumowanie

Opracowana wersja aplikacji ogranicza się jedynie do trzech podzadań związanych z projektowaniem węzłów łożyskowych wałów maszynowych.

W przyszłości planowane jest rozszerzenie możliwości aplikacji poprzez:

- wprowadzenie możliwości doboru sposobu uszczelnienia oraz smarowania łożysk,
- rozbudowanie części obliczeniowej,
- rozwój automatyzacji procesu generowania modeli geometrycznych.

Zakres zastosowania aplikacji nie ogranicza się jedynie do oprogramowania CATIA. Może być z powodzeniem stosowany również w innych systemach, które posiadają możliwości programistyczne związane z środowiskiem Visual Basic for Applications. Podczas wykorzystania przedstawionej aplikacji w innym systemie niż CATIA należy zmodyfikować część aplikacji odpowiedzialną za generowanie modeli geometrycznych, gdyż jest ona przypisana określonemu oprogramowaniu CAD.

Rozdział 9

Podsumowanie i wnioski

9.1. Podsumowanie

Współczesne systemy komputerowego wspomaganie projektowania maszyn to nie tylko narzędzia przeznaczone do generowania dokumentacji konstrukcyjnej, ale także rozbudowane środowiska umożliwiające wspomaganie poszczególnych etapów procesu projektowo-konstrukcyjnego. Przedmiotem niniejszej rozprawy jest zwrócenie uwagi na możliwość wsparcia działalności projektanta podczas rozwiązywania określonych zadań. Od wielu lat tematyka ta stanowi główny cel badawczy wielu ośrodków naukowych w Polsce i za granicą. Proponowane rozwiązania opierają się w głównej mierze na zastosowaniu dokładnej reprezentacji wiedzy. Mając na uwadze naturalny charakter procesu myślowego projektanta, który opiera się na wnioskowaniu przybliżonym bazującym na zbiorze danych niedokładnych i niejednoznacznych, zwrócono uwagę na konieczność wypracowania odpowiednich metod umożliwiających uchwycenie rozpatrywanego problemu.

Zaproponowane przez Prof. W. Cholewę rozwiązanie polegające na zastosowaniu sieci przekonań do reprezentacji wiedzy przybliżonej stało się inspiracją do podjęcia opisanych badań. Ich głównym celem było określenie możliwości pozyskiwania, gromadzenia i stosowania wiedzy inżynierskiej za pomocą sieci przekonań. Obszarem zastosowania omawianego rozwiązania jest projektowanie i konstruowanie maszyn.

W pracy przedstawiono realizację prac badawczych zgodnie z określonym harmonogramem.

W pierwszej części badań własnych zaproponowano metodologię umożliwiającą budowę modelu reprezentującego projektowany obiekt. Zwrócono uwagę na konieczność podziału przedstawionego zadania na elementy. Podejście takie upraszcza w znacznym stopniu budowę modelu (sieci przekonań). Następnie, przedstawiono sposób definiowania poszczególnych elementów sieci, w szczególności węzłów i relacji pomiędzy nimi. Przyjęto, że poszczególne węzły sieci reprezentują cechy konstrukcyjne oraz cechy projektowanego obiektu poszukiwanego przez projektanta. Końcowym etapem budowy struktury modelu jest łączenie podsieci uzyskanych w procesie podziału na mniejsze podzadania. Uzyskana w ten sposób sieć przekonań stanowi model złożonego obiektu.

Kolejnym etapem, po zbudowaniu modelu, było prowadzenie procesu uczenia sieci przekonań, mającej na celu określenie wartości poszczególnych tablic prawdopodobieństw warunkowych CPT. Na potrzebę realizacji procesu uczenia wygenerowano przykłady uczące na podstawie danych literaturowych i wywiadów ze specjalistami.

Ostatnim etapem realizacji prac badawczych było przedstawienie zastosowania opracowanego modelu projektowanego obiektu na przykładzie zadania związanego z łożyskowaniem wałów maszynowych. Przeprowadzone testowanie opracowanego modelu pozwoliło między innymi na określenie korzyści płynących z zastosowanej struktury sieci przekonań.

Opracowany model projektowanego obiektu posłużył do opracowania aplikacji BearingHelper, działającej w środowisku oprogramowania do komputerowo wspomaganego projektowania CATIA. Zadaniem aplikacji jest dostarczenie projektantowi informacji odnoszących się do poszukiwanego rozwiązania opisanego zbiorem wymagań użytkownika. Dodatkowo aplikacja wspomaga podstawowe obliczenia i generowanie modeli geometrycznych poszczególnych elementów łożyskowań wałów.

Wykorzystana sieć przekonań pozwala na reprezentację wiedzy projektowo-konstrukcyjnej zawartej w modelu projektowanego obiektu. Omawiana wiedza reprezentuje:

- strukturę obiektu - zespół, podzespół, element, cecha,
- wzajemne zależności pomiędzy składnikami struktury,
- funkcje pełnione przez określony składnik (grupę składników) modelu,
- analizowane rozwiązania techniczne,
- ograniczenia (więzy) odnoszące się do rozpatrywanej przestrzeni rozwiązań (wartości rozpatrywanych cech konstrukcyjnych i cech obiektu).

9.2. Wnioski

Uzyskane wyniki badań oraz ich interpretacja pozwalają na sformułowanie wniosków odnoszących się do postawionych tez pracy oraz grupy wniosków ogólnych i szczegółowych.

Wnioski dotyczące tez pracy

1. Budowa modelu reprezentującego projektowany obiekt oraz pozyskana wiedza opisująca zdefiniowany model pozwalają orzec o prawdziwości postawionej tezy odnoszącej się do możliwości zastosowania sieci przekonań do sformalizowanego pozyskiwania, gromadzenia i stosowania wiedzy inżynierskiej dla potrzeb projektowania i konstruowania maszyn.
2. Sieć przekonań, stanowiąca formalny opis struktury modelu projektowanego obiektu oraz wiedzy projektowo-konstrukcyjnej, może zostać wykorzystana jako główny składnik systemu doradczego (baza wiedzy). Stosowane obecne oprogramowanie oraz oferowane narzędzia programistyczne pozwalają na integrację systemu doradczego z aplikacjami komputerowo wspomaganego projektowania, czego przykładem jest wykonana aplikacja BearingHelper.

Wnioski ogólne

1. Zastosowanie odpowiedniej struktury sieci przekonań pozwala na określenie wzajemnego wpływu poszczególnych czynników decydujących o przyjęciu określonego rozwiązania.
2. Liczebność zbioru danych wejściowych do procesu wnioskowania (wartości cech decyzyjnych) określa rozmiar przestrzeni możliwych rozwiązań.

3. Zakres zastosowania sieci przekonań do zapisu wiedzy inżynierskiej w dziedzinie projektowania i konstruowania maszyn może być bardzo szeroki, począwszy od prostych zadań po złożone przypadki.

Wnioski szczegółowe

1. Weryfikacja modelu łożyskowania wału ujawniła, że działanie sieci przekonań (modelu) w analizowanym przykładzie jest poprawne w przypadku zastosowania dwóch łożysk tego samego typu.
2. Wprowadzenie stanu węzła *inne* pozwala na spełnienie warunków dotyczących zasady *zamkniętego świata* (row.3.5, 3.6).
3. Przy zachowaniu określonych warunków istnieje możliwość modyfikacji struktury sieci bez wprowadzania zmian procesu wnioskowania. Właściwość ta pozwala między innymi na wprowadzanie nowych składników do modelu obiektu.
4. Wprowadzoną miarę rozróżnialności stanów (RS), oszacowaną na podstawie różnicy wartości stopni przekonania analizowanych stanów węzła, należy traktować orientacyjnie. Miara RS pozwala jedynie na przybliżoną interpretację otrzymanych preferencji rozwiązania określonego zadania.

Reprezentacja wiedzy projektowo-konstrukcyjnej za pomocą sieci przekonań

Streszczenie

Wspomaganie procesu projektowo-konstrukcyjnego traktowanego jako proces intelektualny wiąże się z koniecznością zastosowania odpowiednich metod umożliwiających pozyskiwanie, gromadzenie i wykorzystanie wiedzy inżynierskiej. Obecnie dużym uznaniem cieszą się rozwiązania wykorzystujące metody i techniki sztucznej inteligencji. W odniesieniu do procesu rozumowania projektanta można stwierdzić, że całość działań związanych z realizacją określonych etapów projektu opiera się na wnioskowaniu przybliżonym i niedokładnym. Wykorzystując podejście zaproponowane przez Prof. W.Cholewę, polegające na zastosowaniu sieci przekonań do reprezentacji wiedzy przybliżonej, podjęto badania mające na celu ocenę przydatności takiego rozwiązania w dziedzinie projektowania i konstruowania maszyn.

Realizacja badań związana była z procesem pozyskiwania, gromadzenia i stosowania wiedzy inżynierskiej z zastosowaniem sieci przekonań. Opracowując odpowiednią metodologię postępowania, wskazano sposób definiowania modelu projektowanego obiektu. Zwrócono uwagę na konieczność podziału złożonego zadania na mniejsze podzadania, które można rozpatrywać niezależnie. Wskazano poszczególne elementy sieci przekonań, ich związki z opisem dziedziny zastosowania. Przedstawiono wpływ struktury sieci na jej działanie oraz możliwość jej modyfikacji. Omówiono proces łączenia poszczególnych podsieci umożliwiający budowę modelu globalnego.

Na przykładzie wybranego zadania projektowego dotyczącego łożyskowania wałów maszynowych przeprowadzono weryfikację opracowanej metody. Na podstawie pozyskanych przykładów uczących przeprowadzono proces uczenia sieci. Tak opracowany model wykorzystano do wykonania systemu doradczego działającego w środowisku oprogramowania do komputerowo wspomaganego projektowania.

W badaniach całość działań związanych z siecią przekonań wykonano w programie Netica 2.06, natomiast jako system CAD zastosowano oprogramowanie CATIA V5.12.

Słowa i zwroty kluczowe: sieć przekonań, system doradczy, projektowanie i konstruowanie maszyn, system CAD

Dziedzina: budowa i eksploatacja maszyn, komputerowe wspomaganie projektowania

Design knowledge representation using belief networks

Abstract

The core of the machine design process treated as an intellectual process entails the necessity of the application of appropriate methods that allow us to acquire, store and use engineering knowledge. Nowadays, some solutions that use methods and techniques derived from artificial intelligence receive wide recognition. According to the designer's intellectual process it is possible to state that all activities related to realization of specific stages of the design are based on rough inference. The research, presented in the paper, was worked out with the use of the solution proposed by Prof. W. Cholewa. It consists in the application of a belief network for rough knowledge representation. The main goal of the research was to evaluate mentioned solution according to the needs of machinery design.

Realization of the presented research was connected with the application of belief network as a form which allows us to acquire, store and use engineering knowledge in order to solve design tasks. Working out the appropriate methodology, the definition of the model of a design object was shown. The attention was paid to the necessity connected with splitting the main task into groups of subtasks. The specified subtask can be considered separately. The individual elements of the belief network and their relationships with the domain of application were presented. The influence of the network structure on the way it works and it is able to modify its structure were shown. The process of linking groups of belief subnets was discussed.

The verification of proposed methodology was conducted using an exemplary design task related to the design of the bearing system of the shaft. The learning process of the belief network was carried out with the use of a set of acquired learning data. The worked out model was used in order to build the expert system integrated with the computer aided design system.

All tasks of the research connected with the belief network were performed with the use of Netica 2.06. As the CAD system CATIA V5.12 was used.

Keywords and phrases: belief network, expert system, machine design, CAD system

Domains: machine building and maintenance, computer aided design

Bibliografia

- [1] van Aken J.E.: *Valid knowledge for the professional design of large and complex design processes*, Design Studies, Vol.26, Issue 4, July 2005, pp.379-404.
- [2] Badke-Schaub P., Frankenberger E.: *Analysis of design projects*, Design Studies, Vol.20, Issue 5, September 1999, pp.401-406.
- [3] Bhatia P., Thirunarayanan J., Dave N.: *An expert system-based design of SCARA robot*, Expert Systems with Applications, Vol.15, Issue 1, July 1998, pp.99-109.
- [4] Boulanger S., Smith I.: *Models of design process*, Applications of Artificial Intelligence in Structural Engineering, Lausanne, 1994, pp.30-46.
- [5] Bradley H.D., Maropoulos P.G.: *A relation based product model for computer supported early design assessment*, Journal of Materials Processing Technology, Vol. 76, Issue 1-3, April 1998, pp.88-95.
- [6] Bueno J.C.: *Improving Bayesian Network Classifiers*, rozprawa doktorska, Departament de Llenguatges i Sistemes Informàtics, Universitat Politècnica de Catalunya, 2003.
- [7] Campbell M.I., Cagan J., Kotonsky K.: *A-Design: An Agent-Based Approach to Conceptual Design in a Dynamic Environment*, Research in Engineering Design, Vol.11, Issue 3, October 1999, pp.172-192.
- [8] Campos L.M., Huete J.F.: *A new approach for learning belief networks using independence criteria*, International Journal of Approximate Reasoning, Vol.24, Issue 1, April 2000, pp.11-37.
- [9] Carver N., Lesser V.: *Evolution of Blackboard Control Architectures*, Special Issue on The Blackboard Paradigm and Its Applications, Vol.7, No.1, 1994, pp.1-30.
- [10] Chao N.H.: *An Intelligent CAD System for Mechanical Design*, Artificial Intelligence in Engineering Design, Vol.3, Part 8, Academic Press, San Diego, CA, 1992, pp.199-222.
- [11] Chapman C.B., Pinfold M.: *Design Engineering - a need to rethink the solution using knowledge based engineering*, Knowledge-Based Systems, Vol.12, Issue 5-6, October 1999, pp.257-267.
- [12] Chin K.S., Zhao Y., Mok C.K.: *STEP-Based Multiview Integrated Product Modelling for Concurrent Engineering*, The International Journal of Advanced Manufacturing technology, Vol.20, Issue 12, November 2002, pp.896-906.

- [13] Chlebus E.: *Techniki komputerowe CAx w inżynierii produkcji*, WNT, Warszawa, 2000.
- [14] Cholewa W.: *Dynamiczne systemy doradcze w diagnostyce technicznej*, Kongres Diagnostyki Technicznej, T.1, KPKM, Politechnika Śląska i IMP PAN, Gdańsk, 1996, ss.57-84.
- [15] Cholewa W., Mazurek A.: *Wspomaganie procesu konstruowania z wykorzystaniem sieci przekonań*, XXII Sympozjon PKM, T.2, Gdynia-Jurata, 2005, ss.173-180.
- [16] Cholewa W., Moczulski W.: *Systemy doradcze w diagnostyce technicznej*, Cz.1 i 2, Zagadnienia Eksploatacji Maszyn, 1990, Zeszyt 2-3, ss.331-342 i Zeszyt 4, ss.519-527.
- [17] Cholewa W., Pedrycz W.: *Systemy doradcze*, Skrypt uczelniany Politechniki Śląskiej nr 1447, Gliwice, 1987.
- [18] Cichocki P.: *Metodyka przechowywania wiedzy projektowej w budowie maszyn*, Rozprawa doktorska, Politechnika Warszawska, Warszawa, 2001.
- [19] Cichocki P.: *Inteligentny osobisty asystent jako narzędzie wspomagające proces projektowania*, Methods of artificial intelligence in mechanics and mechanical engineering, AI-MECH 2000, Gliwice, 2000, ss.123-130.
- [20] Cichosz P.: *Uczenie się maszyn*, <http://www.ise.pw.edu.pl/~cichosz/um/>.
- [21] Craig I.: *Blackboard Systems*, Nordwood, ABLEX Publishing Corporation, New Jersey, 1995.
- [22] DARPA: *strona główna*, <http://ksl-web.stanford.edu/knowledge-sharing/>
- [23] Das B.: *Representing Uncertainties Using Bayesian Networks*, Information Technology Division Electronics and Surveillance Research Laboratory, DSTO-TR-0918, 1999.
- [24] Dassault Systèmes: *strona główna*, <http://www.3ds.com>.
- [25] Dassault Systèmes: *CATIA Version 5 Release 12 Documentation*, 1994-2003.
- [26] Deneux D., Wang X.H.: *A knowledge model for functional re-design*, Engineering Applications of Artificial Intelligence, Vol.13, Issue 1, February 2000, pp. 85-98.
- [27] Dietrych J.: *System i konstrukcja*, WNT, Warszawa, 1985.
- [28] Englemore R., Morgan T.: *Blackboard systems*, Wokingam: Addison-Wesley, 1988.
- [29] FAG Kugelfischer Georg Schäfer & Co.: *Die Gestaltung von Wälzlagerungen*, Publ.Nr.00200/2 DA.
- [30] Frankenberger E., Badke-Schaub P.: *Modelling design process in industry - empirical investigations of design work in practise*, Automation in Construction, Vol.7, Issue 2-3, January 1998, pp.139-155.
- [31] Gu P., Han K.: *Product modelling using STEP*, Computer-Aided Design, Vol.27, Issue 3, 1995, pp.163-179.
- [32] Grobliński J., Kobyłecki P.: *Dobór łożysk tocznych*, Wydawnictwa Normalizacyjne, Warszawa, 1973.

- [33] Hicks R.C.: *Knowledge base management systems-tools for creating verified intelligent systems*, Knowledge-Based Systems Vol.16, Issue 3, April 2003, pp.165-171.
- [34] Hugin: *Hugin Expert Inc.*, <http://www.hugin.dk>.
- [35] Hvam L., Riis J., Malis M., Hansen B.: *A procedure for building product models*, 2000, <http://www.productmodels.org/centre/literature/egneen.htm>.
- [36] ISO 10303-1:1994 Industrial automation systems and integration Product data representation and exchange - Overview and Fundamental Principles, International Standard, ISO TC184/SC4, 1994.
- [37] Jaśkiewicz Z., Wąsiewski A.: *Układy napędowe pojazdów samochodowych. Obliczenia projektowe*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa, 2002.
- [38] Jensen F.V.: *Bayesian networks and decision graphs*, Springer-Verlag, New York, 2001.
- [39] Jensen F.V.: *An Introduction to Bayesian Networks*, Springer-Verlag, New York, 1996.
- [40] Kacprzyk J.: *Zbiory rozmyte w analizie systemowej*, PWN, Warszawa, 1986.
- [41] KADS: *strona główna*, <http://www.commonkads.uva.nl>
- [42] Kiciński J.(red.): *Modelowanie i diagnostyka oddziaływań mechanicznych, aerodynamicznych i magnetycznych w turbozespołach energetycznych*, IMP PAN, Gdańsk, 2005.
- [43] Kingston J.K.C.: *Designing knowledge based systems: the CommonKADS design model*, Knowledge-Based Systems, Vol.11, Issue 5-6, November 1998, pp.311-319.
- [44] Korbicz J., Kościelny J., Kowalczyk Z., Cholewa W.(red.): *Diagnostyka procesów. Modele. Metody sztucznej inteligencji. Zastosowania*, WNT, Warszawa, 2002.
- [45] Krzemiński-Freda H.: *Łożyska toczne*, PWN, Warszawa, 1989.
- [46] Kurmaz L.W., Kurmaz O.L.: *Projektowanie węzłów i części maszyn*, Wydawnictwo Politechniki Świętokrzyskiej, Kielce, 2003.
- [47] Lander S.E.: *Issues in Multiagent Design Systems*, IEEE Experts March-April, 1997, pp.18-26.
- [48] Lauritzen S.L., Spiegelhalter D.J.: *Local computations with probabilities on graphical structures and their application to expert system*, Journal of the Royal Statistical Society, Series B (Methodological), Vol.50, Issue 2, 1988, pp.157-224.
- [49] Leibovici L., Fishman M., Schonheyder H.C., Riekehr C., Kristinsen B., Shraga I., Andreassen S.: *A casual probabilistic network for optimal treatment of bacterial infections*, IEEE: Transactions on Knowledge and Data Engineering, Vol.12, Issue 4, July-August 2000, pp.517-528.
- [50] Liang W.Y., O'Grady P.: *Design with objects: an approach to object-oriented design*, Computer-Aided Design, Vol.30, Issue 12, October 1998, pp.943-956.

- [51] Liao S.H.: *Expert system methodologies and applications - a decade review from 1995 to 2004*, Expert Systems with Applications, Vol.28, Issue 1, January 2005, pp.93-103.
- [52] Maeda O., Cao Y., Altintas Y.: *Expert spindle design system*, International Journal of Machine Tools & Manufacture, Vol.45, Issue 4-5, April 2005, pp.537-548.
- [53] Maher M.L., Pu P.: *Issues and Applications of Case-Based Reasoning in Design*, Lawrence Erlbaum Associates, Publishers, 1997.
- [54] Maniak P.: *Badanie przydatności metod indukcyjnych do pozyskiwania wiedzy projektowej*, KPKM Politechnika Śląska, Zeszyt nr 116, Gliwice, 2000.
- [55] Marefat M., Qiang Ji: *Hierarchical Bayesian methods for recognition and extraction of 3-D shape features from CAD solid models*, IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, Part A, Vol.27, Issue 6, November 1997, pp.705-727.
- [56] Marefat M., Qiang Ji: *Bayesian approach for extracting and identifying features*, Computer-Aided Design, Vol.27, Issue 6, June 1995, pp.435-454.
- [57] Mazurek A.: *Knowledge representation in CAD system CATIA*, Methods of artificial intelligence in mechanics and mechanical engineering, AI-MECH, Gliwice, 2001, pp.139-142.
- [58] Mazurek A.: *Wspomaganie konstruowania łożyskowania wałów maszynowych - system BearingHelper*, Mechanik 11/2005, Agenda Wydawnicza SIMP, Warszawa, 2005, s.954-955.
- [59] MathSoft, Inc.: *strona główna*, <http://www.statsci.com>.
- [60] Mekhnacha K., Mazer E., Bessière P.: *The design and implementation of a Bayesian CAD modeler for robotic applications*, Advanced Robotics, Vol.15, No.1, 2001, pp.45-69.
- [61] Mekhnacha K., Mazer E., Bessiere P.: *A Robotic CAD system using a Bayesian framework*, The IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS 2000), Vol.3, October-November 2000, Japan, pp.1597-1604.
- [62] Microsoft Corporation: *strona główna*, <http://www.microsoft.com>
- [63] MML Working Group: *MOKA User Guide*, MOKA/COV/TK1.5/DL/D1.3B/1/CC/SUB, 2000.
- [64] Moczulski W.: *Metody pozyskiwania wiedzy dla potrzeb diagnostyki maszyn*, praca habilitacyjna, Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej nr 130 - Mechanika, Gliwice, 1997.
- [65] Moczulski W.: *Indukcja reguł dla potrzeb wspomaganie rozwiązywania rutynowego zadania konstrukcyjnego*, XVIII Sympozjon PKM, Cz.2, Kielce-Amielówka, 1997, ss.271-276.
- [66] Moczulski W.: *Pozyskiwanie wiedzy deklaratywnej i procesduralnej*, Methods of artificial intelligence in mechanics and mechanical engineering, AI-MECH 2000, Gliwice, 2000, ss.55-74.

- [67] Moczulski W., Ciupke K., Maniak P., Wyleźoł M.: *Pozyskiwanie wiedzy projektowej i konstrukcyjnej metodami indukcyjnymi*, XI Konferencja "Metody i środki projektowania wspomaganego komputerowo", Instytut Podstaw Budowy Maszyn, Politechnika Warszawska, Warszawa, 1997, ss.255-262.
- [68] MOKA: *Managing Engineering Knowledge, MOKA - project*, Professional Engineering Publishing Limited, London, 2001.
- [69] Mulawka J.J.: *Systemy ekspertowe*, WNT, Warszawa, 1996.
- [70] Nahm Y., Ishikawa H.: *Integrated Product and Process Modeling for Collaborative Design Environment*, Concurrent Engineering: Research and Applications, Vol.12, No.1, 2004, pp.5-23.
- [71] Nicholson A., Boneh T., Wilkin T., Stacey K., Sonenberg L., Steinle V.: *A case study in knowledge discovery and elicitation in an intelligent tutoring application in UAI01*, Proc. of the 17th Conference on Uncertainty in AI, Seattle, 2001, pp.386-394.
- [72] Nikovski D.: *Constructing Bayesian networks for medical diagnosis from incomplete and partially correct statistics*, IEEE: Transactions on Knowledge and Data Engineering, Vol.12, Issue 4, July-August 2000, pp.509-516.
- [73] Noetic Systems, Inc.: *strona główna*, <http://www.noeticsystems.com>.
- [74] Norsys Software Corp.: *strona główna*, <http://www.norsys.com>.
- [75] Nourani C.F.: *Multiagent AI implementations an Emerging Software Engineering Trend*, Engineering Applications of Artificial Intelligence, Elsevier, 1999, ss.37-43.
- [76] Ociepka P.; Świder J.: *Object-oriented system for computer aiding of the machines conceptual design process*, Journal of Materials Processing Technology, Vol.157-158, 2004, pp.221-227.
- [77] Ong Y.S., Keane A.J.: *A domain knowledge based search advisor for design problem solving environments*, Engineering Applications of Artificial Intelligence, Vol.15, Issue 1, February 2002, pp.105-116.
- [78] Pahl G., Beitz W.: *Nauka konstruowania*, WNT, Warszawa, 1984.
- [79] Paszek A., Knosala R.: *The method of knowledge representation in an expert system for metal cutting engineering*, Journal of Materials Processing Technology, Vol.64, Issue 1-3, February 1997, pp.319-326.
- [80] Pearl J.: *Probabilistic Reasoning in Intelligent Systems: Networks of Plausible Inference*, Morgan Kaufmann, San Mateo, CA, 1988.
- [81] Pham D.T., Pham P.T.N.: *Artificial intelligence in engineering*, International Journal of Machine Tools & Manufacture, Vol.39, Issue 6, June 1999, pp.937-949.
- [82] Pokojski J.(red.): *Inteligentne wspomaganie procesu integracji środowiska do komputerowo wspomaganego projektowania maszyn*, WNT, Warszawa, 2000.

- [83] Pokojski J.: *Systemy doradcze w projektowaniu maszyn*, WNT, Warszawa, 2005.
- [84] Pokojski J.(red.): *Zastosowanie metody case-based reasoning w projektowaniu maszyn*, WNT, Warszawa, 2003.
- [85] Pokojski J.: *Product Model Transformations in Maze Model of Design*, Computer Integrated Manufacturing, Proc. of Int. Conf. CIM99, Zakopane, WNT, Warszawa, 1999, ss.121-128.
- [86] Pokojski J.: *Systemy oparte na wiedzy w projektowaniu maszyn*, Methods of artificial intelligence in mechanics and mechanical engineering, AI-MECH 2000, Gliwice, 2000, ss.265-272.
- [87] Pokojski J.: *Intelligent Personal Assistant - Concepts and Applications in Engineering*, Springer-Verlag, London, 2003.
- [88] Pokojski J.: *Intelligent Personal Assistant in Engineering Activities*, Engineering Design in Integrated Product Development, EDIPROD'2004, Rydzyna, 2004, pp.255-262.
- [89] Pokojski J., Okapiec M., Witkowski G.: *Knowledge-Based Engineering, Design History Storage, and Case-Based Reasoning on the Basis of Car Gear Box Design*, Methods of Artificial Intelligence, AI-METH, Gliwice, 2002, pp.337-340.
- [90] Purzyński R., Zahradnik O.: *Podstawy Konstrukcji Maszyn. Przewodnik do zajęć projektowo-konstrukcyjnych. Typowe układy i elementy łożyskowań tocznych*, Skrypt uczelniany Politechniki Śląskiej nr 1345, Gliwice, 1987.
- [91] Ramesh B., Tiwana A.: *Supporting collaborative process knowledge management in new product development teams*, Decision Support Systems, Vol.27, Issue 1-2, November 1999, pp.213-235.
- [92] Sarkar S., Murthy I.: *Criteria to evaluate approximate belief network representations in expert systems*, Decision Support Systems, Vol.15, Issue 4, December 1995, pp.323-350.
- [93] Sarkar S., Sriram R.S., Joykutty S., Murthy I.: *An information theoretic technique to design belief network based expert systems*, Decision Support Systems, Vol.17, Issue 1, April 1996, pp.13-60.
- [94] Skarka W.: *Wspomaganie procesu tworzenia dokumentacji techniczno-ruchowej dla wybranej grupy maszyn*, rozprawa doktorska, Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej Nr 129 - Mechanika, Gliwice, 1997.
- [95] Skarka W.: *Komputerowe środowisko projektowania współbieżnego zorientowane na zarządzanie wiedzą* Systems. Journal of Transdisciplinary Systems Science, Vol.9, 2004, ss.767-777.
- [96] Skarka W.: *Collecting and Sharing Designers' Knowledge in Collaborative Environment*. Concurrent Engineering CE 2003, Vol.2, Portugalia, 2003, pp.265-273.
- [97] Skarka W.: *Metodologia tworzenia i wykorzystania baz wiedzy w procesie projektowania. Zastosowanie języków UML i XML do projektowania baz wiedzy*. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice, 2005.

- [98] Skarka W., Górka D., Siwiec J.: *Intelligent aiding of designing*, Artificial Intelligence Methods, AI-METH, Gliwice, 2002, pp.169-172.
- [99] Sehyun M., Soonhung H.: *Knowledge-Based Parametric Design of Mechanical Products Based on Configuration Design Method*, Expert Systems with Applications, Vol.21, Issue 2, August 2001, pp.99-107.
- [100] SKF: *Bearing arrangements*, Wezäta, 1975.
- [101] SKF Polska: *Katalog główny*, 1991.
- [102] *Komputerowy słownik języka polskiego 1.0*, PWN, Warszawa, 1996.
- [103] Smith R.P., Jeffrey M.: *Product development process modeling*, Design Studies, Vol.20, Issue 3, May 1999, pp.237–261.
- [104] Spiegelhalter D.J., Dawid A.P, Lauritzen S.L., Cowell R.G.: *Bayesian analysis in expert system*, Statistical Science, Vol.8, No.3, 1993, pp.219-283.
- [105] Sriram R.: *Intelligent Systems for Engineering*, A knowledge based approach. Springer-Verlag, 1997.
- [106] Stempfle J., Badke-Schaub P.: *Thinking in design teams - an analysis of team communication*, Design Studies, Vol.23, Issue 5, September 2002, pp.473-496.
- [107] Sudarsan R., Fenves S.J., Sriram R.D., Wang F.: *A product information modeling framework for product lifecycle management*, Computer-Aided Design, Vol.37, Issue 13, November 2005, pp.1399-1411.
- [108] Szucki T.: *Podstawy obliczania i konstruowania łożysk tocznych*, Zeszyty Naukowe Politechniki Warszawskiej, Nr 19, 1976.
- [109] Tong Ch., Sriram D.: *Artificial Intelligence in Engineering Design*, Vol.1, 2, 3, Academic Press, San Diego, CA, 1992.
- [110] Wang Q., Zhu J.Y., Shu Y.Q., Rao M., Chuang K.T.: *An Intelligent Design Environment for Conceptual Process Design*, Engineering Applications of Artificial Intelligence, Vol.8, Issue 2, April 1995, pp.115-127.
- [111] Winkler T.: *Komputerowy zapis konstrukcji. Wspomaganie komputerowe CAD/CAM*, WNT, Warszawa, 1997.
- [112] Woodberry O.G.: *Knowledge Engineering a Bayesian Network for an Ecological Risk Assessment*, Bachelor of Computer Science with Honours, Monash University, 2003.
- [113] Zakarian V.L., Kaiser M.J.: *An embedded hybrid neural network and expert system in a computer-aided design system*, Expert Systems with Applications, Vol.16, Issue 2, January 1999, pp.233-243.

Załączniki

Załącznik A

W załączniku zamieszczono formularze opracowane na potrzebę pozyskiwania przykładów uczących do procesu uczenia sieci przekonań (roz.6.6).

Załącznik B

Załącznik zawiera zbiór pozyskanych przykładów wykorzystanych w procesie uczenia sieci przekonań.

Załącznik C

Załącznik zawiera tabele umożliwiające przekształcenie wartości cech ilościowych na jakościowe dotyczących:

- cen stosowanych łożysk tocznych,
- złożoności ustalenie osiowego łożyska na wale,
- złożoności grupy rozpatrywanych rozwiązań łożyskowania wałów maszynowych.

Wyznaczone wartości jakościowe zostały wykorzystane podczas generowania przykładów uczących do procesu uczenia sieci przekonań (roz.6.6).

Ustalenie osiowe łożyska na wale i w oprawie 1/2

formularz nr:.....

L.p.	Ustalenie na wale					Ustalenie w oprawie				
	Ustalenie na wale	Warunki działania	Główna powierzchnia oporowa	Pomocnicza powierzchnia oporowa	Złożoność	Ustalenie osiowe łożyska	Ustalenie w oprawie	Główna powierzchnia oporowa	Pomocnicza powierzchnia oporowa	Ustalenie osiowe łożyska
	UW 01; UW 02; UW 03; UW 04; UW 05; UW 06; UW 07; UW 08; UW 09; UW 10;	ciężkie; średnie; lekkie;	pierszeń osadzy spręż.; pierszeń osadzy; odsadzenie walek; odsadzenie kół; tuleja; brak;	nakrętka łożyskowa; krążek zabezpieczający; pierszeń osadzy spręż.; pierszeń osadzy; nakrętka specjalna; tuleja dystansowa; bark;	duża; średnia; mała;	ustalony wale – ustalona oprawa; ustalony wale – nieustalona opr.; nieustalony wale – ustalona opr.;	UO 01; UO 02; UO 03; UO 04; UO 05;	pierszeń osadzy spręż.; odsadzenie wkrępa; brak;	połyska; pokrywa łożyskowa; brak;	ustalony wale – ustalona oprawa; ustalony wale – nieustalona opr.; nieustalony wale – ustalona opr.;

Zródło: _____ Waga: _____

Rys. 9.3. Formularz 1/2 - ustalenie osiowe łożyska na wale i w oprawie

Ustalenie osiowe łożyska na wale i w oprawie 2/2

formularz nr:.....

L.p.	Ustalenie osiowe łożyska			Pomocnicza powierzchnia oporowa (wał)	
	Ustalenie osiowe łożyska	Rola łożyska	Wirowanie obciążenia	Pomocnicza powierzchnia oporowa (wał)	Położenie segmentu wału
	ustalony wale – ustalona oprawa; ustalony wale – nieustalona opr.; nieustalony wale – ustalona opr.;	swobodnie; ustalając;	pierszeń wewnętrzny; pierszeń zewnętrzny; pierszeń wewnętrzny; pierszeń zewnętrzny;	nakrętka łożyskowa; krążek zabezpieczający; pierszeń osadzy spręż.; pierszeń osadzy; nakrętka specjalna; tuleja dystansowa; bark;	końcowy; pośredni;

Zródło: _____ Waga: _____

Rys. 9.4. Formularz 2/2 - ustalenie osiowe łożyska na wale i w oprawie

Rozwiązania układów łożyskowania wałów 1/2

formularz nr:.....

L.p.	Typ łożyska tocznego							
	Rozwiązanie	Układ łożyskowania	Konfiguracja łożysk	Ustalenie osiowe – węzeł 1 i 2	Obciążenie wzdłużne / poprzeczne	C / rozmiar łożyska	Złożoność	Graniczna predkość obrotowa
	RUL 01; RUL 02; RUL 03; RUL 04; RUL 05; RUL 06; RUL 07; RUL 08; RUL 09; RUL 10; RUL 11; RUL 12; RUL 13; inne	łoż. swobodne – łoż. swobodne łoż. swobodne – łoż. ustalone łoż. ustalone – łoż. ustalone	KL 01; KL 02; KL 03; KL 04; KL 05; KL 06; KL 07; KL 08; KL 09; KL 10; inne;	UOL 01; UOL 02; UOL 03; UOL 04; UOL 05; UOL 06; UOL 07; inne;	duży; średni; mały;	bardzo duża; duża; średnia; mała;	duża; średnia; mała;	bardzo duża; duża; średnia; mała;

Źródło:	Waga:
---------	-------

Rys. 9.5. Formularz 1/2 - rozwiązania łożyskowania wałów

Rozwiązania układów łożyskowania wałów 2/2

formularz nr:.....

L.p.	Konfiguracja łożysk			Ustalenie osiowe – węzeł 1 i 2				
	Konfiguracja łożysk	Typ łożyska tocznego - 1	Typ łożyska tocznego - 2	Ustalenie osiowe – węzeł 1 i 2	Ustalenie na wale - 1	Ustalenie w oprawie - 1	Ustalenie na wale - 2	Ustalenie w oprawie - 2
	KL 01; KL 02; KL 03; KL 04; KL 05; KL 06; KL 07; KL 08; KL 09; KL 10; inne;	kul. zwyłkie, kul. skośne 1rz.; kul. skośne 2rz.; kul. sk.1rz.Oi; kul. wahliwe; walcowe NU; walcowe NU; walcowe NU; wałkowe; banyfikowe 2rz.; wzdł.kul.; wzdł.kul.sko.1kier.; wzd. walcowe; wzd. igłkowe; wzd. banyfikowe;	kul. zwyłkie, kul. skośne 1rz.; kul. skośne 2rz.; kul. sk.1rz.Oi; kul. wahliwe; walcowe NU; walcowe NU; walcowe NU; wałkowe; banyfikowe 2rz.; wzdł.kul.; wzdł.kul.sko.1kier.; wzd. walcowe; wzd. igłkowe; wzd. banyfikowe;	UOL 01; UOL 02; UOL 03; UOL 04; UOL 05; UOL 06; UOL 07; inne;	UW 01; UW 02; UW 03; UW 04; UW 05; UW 06; UW 07; UW 08; UW 09; UW 10;	UO 01; UO 02; UO 03; UO 05; UO 06;	UW 01; UW 02; UW 03; UW 04; UW 05; UW 06; UW 07; UW 08; UW 09; UW 10;	UO 01; UO 02; UO 03; UO 05; UO 06;

Źródło:	Waga:
---------	-------

Rys. 9.6. Formularz 2/2 - rozwiązania łożyskowania wałów

Załącznik B

B.1. Przykłady uczące

Układ łożyskowania 1/2

IDnum	NumCases	ObcWzd	ZmianyDlugosciWalu	KierunekObcWzd	UkladLozyskowaniaWalu
1	10	male	wystepuja	staly	LSwob.LSwob
2	5	srednie	wystepuja	staly	LSwob.LUstal
3	1	duze	wystepuja	zmienny	LSwob.LUstal
4	5	male	nie_wystepuja	staly	LSwob.LSwob
5	5	duze	nie_wystepuja	staly	LSwob.LUstal
6	10	bardzo_duze	nie_wystepuja	zmienny	LUstal.LUstal
7	10	duze	nie_wystepuja	zmienny	LUstal.LUstal

Układ łożyskowania 2/2

IDnum	NumCases	UkladLozysk	UkladLozyskowaniaWalu
1	5	X	LUstal.LUstal
2	5	inny	LSwob.LSwob
3	5	inny	LSwob.LUstal
4	5	O	LUstal.LUstal

Zmiany długości wału

IDnum	NumCases	RozszerzalnoscCieplna	UgicieWalu	ZmianyDlugosciWalu
1	10	wystepuje	wystepuje	wystepuja
2	5	wystepuje	nie_wystepuje	wystepuja
3	5	nie_wystepuje	wystepuje	wystepuja
4	10	nie_wystepuje	nie_wystepuje	nie_wystepuja

Ugięcie wału

IDnum	NumCases	ObciazeniePoprzeczne	SmukloscWalu	UgicieWalu
1	15	bardzo_duze	duza	wystepuje
2	10	duze	duza	wystepuje
3	5	srednie	duza	wystepuje
4	1	male	duza	nie_wystepuje
5	1	bardzo_duze	mala	wystepuje
6	5	duze	mala	wystepuje
7	10	srednie	mala	nie_wystepuje
8	15	male	mala	nie_wystepuje

Układ łożysk

IDnum	NumCases	PolozenieObcPoprz	UkladLozysk
1	5	poza_podporami	O
2	5	poza_podporami	inny
3	5	miedzy_podporami	X
4	5	miedzy_podporami	inny
5	5	miedzy_i_poza_podporami	O
6	5	miedzy_i_poza_podporami	inny

Ustalenie na wale 1/3

IDnum	NumCases	WarunkiDzialania	UstalenieWal
1	1	srednie	UW_01
2	10	ciezkie	UW_02
3	5	ciezkie	UW_03
4	10	srednie	UW_04
5	10	srednie	UW_05
6	10	lekkie	UW_06
7	5	srednie	UW_07
8	10	ciezkie	UW_08
9	5	srednie	UW_09
10	10	lekkie	UW_10

Ustalenie na wale 2/3

IDnum	NumCases	GPO_Wal	PPO_Wal	UstalenieWal
1	5	odsadzenie_kolnierza_tulei	brak	UW_01
2	5	odsadzenie_walu	brak	UW_01
3	5	odsadzenie_kolnierza_tulei	nakretka_lozyskowa	UW_02
4	5	odsadzenie_walu	nakretka_lozyskowa	UW_02
5	10	pierscien_osadczy_spr	nakretka_lozyskowa	UW_03
6	5	odsadzenie_kolnierza_tulei	pierscien_osadczy_sprez	UW_04
7	5	odsadzenie_walu	pierscien_osadczy_sprez	UW_04
8	10	pierscien_osadczy_spr	pierscien_osadczy_sprez	UW_05
9	10	pierscien_osadczy	pierscien_osadczy	UW_06
10	5	odsadzenie_kolnierza_tulei	tuleja_dystansowa	UW_07
11	5	odsadzenie_walu	tuleja_dystansowa	UW_07
12	10	brak	nakretka_lozyskowa	UW_08
13	10	odsadzenie_walu	krazek_zabezpieczajacy	UW_09
14	10	odsadzenie_walu	nakretka_specjalna	UW_10

Ustalenie na wale 3/3

IDnum	NumCases	ZlozonoscUstalenieWal	UstalenieWal
1	5	mala	UW_01
2	5	srednia	UW_02
3	5	duza	UW_03
4	5	mala	UW_04
5	5	srednia	UW_05
6	5	mala	UW_06
7	5	mala	UW_07
8	5	srednia	UW_08
9	5	duza	UW_09
10	5	mala	UW_10

Ustalenie w oprawie

IDnum	NumCases	GPO_Oprawa	PPO_Oprawa	UstalenieOprawa
1	5	brak	brak	UO_01
2	5	odsadzenie_w_korpusie	pokrywa_lozykowa	UO_02
3	5	pierscien_osadczy_sprez	pokrywa_lozykowa	UO_03
4	5	odsadzenie_w_korpusie	brak	UO_04
5	5	brak	pokrywa_lozykowa	UO_05

Ustalenie osiowe łożyska

IDnum	RolaLozyska	WirowanieObciazenia	UstalenieOsioweLozyska
1	swobodne	pier_zewnetrzny	nieust_wal_ust_oprawa
2	ustalajace	pier_wewnetrzny	ust_wal_nieust_oprawa
3	swobodne	pier_wewnetrzny	ust_wal_nieust_oprawa
4	ustalajace	pier_wew_zew	ust_wal_ust_oprawa
5	ustalajace	pier_wewnetrzny	ust_wal_ust_oprawa
6	swobodne	pier_zewnetrzny	ust_wal_ust_oprawa
7	swobodne	pier_wewnetrzny	ust_wal_nieust_oprawa
8	swobodne	pier_wewnetrzny	ust_wal_ust_oprawa
9	swobodne	pier_wewnetrzny	ust_wal_nieust_oprawa
10	swobodne	pier_zewnetrzny	nieust_wal_ust_oprawa
11	swobodne	pier_zewnetrzny	ust_wal_nieust_oprawa
12	swobodne	pier_zewnetrzny	nieust_wal_ust_oprawa
13	ustalajace	pier_wewnetrzny	ust_wal_ust_oprawa
14	swobodne	pier_wewnetrzny	ust_wal_nieust_oprawa
15	swobodne	pier_zewnetrzny	nieust_wal_ust_oprawa
16	ustalajace	pier_zewnetrzny	ust_wal_ust_oprawa
17	ustalajace	pier_wewnetrzny	ust_wal_ust_oprawa
18	ustalajace	pier_wew_zew	ust_wal_ust_oprawa

Pomocnicza powierzchnia oporowa

IDnum	NumCases	PolozenieSegmentu	PPO.Wal
1	5	koncowy	nakretka_lozyskowa
2	5	posredni	nakretka_lozyskowa
3	5	koncowy	krazek_zabezpieczajacy
4	5	koncowy	pierscien_osadczy_sprez
5	5	posredni	pierscien_osadczy_sprez
6	5	koncowy	pierscien_osadczy
7	5	posredni	pierscien_osadczy
8	5	koncowy	nakretka_specjalna
9	5	posredni	tuleja_dystansowa
10	5	koncowy	brak
11	5	posredni	brak

Warunki działania				
IDnum	NumCases	CharakterObciazenia	ObciazenieWzdłużne	WarunkiDzialania
1	10	stale	bardzo_duze	ciężkie
2	10	stale	duze	średnie
3	10	stale	średnie	średnie
4	10	stale	male	lekkie
5	10	stale	brak	lekkie
6	10	zmiennie	bardzo_duze	ciężkie
7	10	zmiennie	duze	ciężkie
8	10	zmiennie	średnie	średnie
9	10	zmiennie	male	średnie
10	10	zmiennie	brak	lekkie
11	10	stale	bardzo_duze	ciężkie
12	10	stale	duze	średnie
13	10	stale	średnie	średnie
14	10	stale	male	lekkie
15	10	stale	brak	lekkie
16	10	zmiennie	bardzo_duze	ciężkie
17	10	zmiennie	duze	ciężkie
18	10	zmiennie	średnie	średnie
19	10	zmiennie	male	średnie
20	10	zmiennie	brak	lekkie
21	5	stale	bardzo_duze	ciężkie
22	5	stale	duze	ciężkie
23	5	stale	średnie	średnie
24	5	stale	male	lekkie
25	5	stale	brak	lekkie
26	5	zmiennie	bardzo_duze	ciężkie
27	5	zmiennie	duze	ciężkie
28	5	zmiennie	średnie	ciężkie
29	5	zmiennie	male	średnie
30	5	zmiennie	brak	lekkie
31	10	stale	bardzo_duze	ciężkie
32	10	stale	duze	ciężkie
33	10	stale	średnie	średnie
34	10	stale	male	średnie
35	10	stale	brak	lekkie
36	10	zmiennie	bardzo_duze	ciężkie
37	10	zmiennie	duze	ciężkie
38	10	zmiennie	średnie	ciężkie
39	10	zmiennie	male	średnie
40	10	zmiennie	brak	lekkie
41	1	stale	bardzo_duze	średnie
42	1	stale	duze	średnie
43	1	stale	średnie	lekkie
44	1	stale	male	lekkie
45	1	stale	brak	lekkie
46	1	zmiennie	bardzo_duze	ciężkie
47	1	zmiennie	duze	ciężkie
48	1	zmiennie	średnie	średnie
49	1	zmiennie	male	średnie
50	1	zmiennie	brak	lekkie

Ustalenie wal i oprawa

IDnum	NumCases	UstalenieOsioweLozyska	UstalenieWal	UstalenieOprawa
1	3	ust_wal_ust_oprawa	UW_01	UO_02
2	3	ust_wal_ust_oprawa	UW_01	UO_05
3	3	ust_wal_nieust_oprawa	UW_01	UO_01
4	3	nieust_wal_ust_oprawa	UW_01	UO_02
5	3	nieust_wal_ust_oprawa	UW_01	UO_03
6	5	ust_wal_ust_oprawa	UW_02	UO_02
7	5	ust_wal_ust_oprawa	UW_02	UO_03
8	5	ust_wal_nieust_oprawa	UW_02	UO_01
9	5	ust_wal_ust_oprawa	UW_03	UO_02
10	5	ust_wal_ust_oprawa	UW_03	UO_03
11	5	ust_wal_nieust_oprawa	UW_03	UO_01
12	5	ust_wal_ust_oprawa	UW_04	UO_02
13	5	ust_wal_ust_oprawa	UW_04	UO_03
14	5	ust_wal_nieust_oprawa	UW_04	UO_01
15	5	ust_wal_ust_oprawa	UW_05	UO_02
16	5	ust_wal_ust_oprawa	UW_05	UO_03
17	5	ust_wal_nieust_oprawa	UW_05	UO_01
18	5	ust_wal_ust_oprawa	UW_06	UO_02
19	5	ust_wal_ust_oprawa	UW_06	UO_03
20	5	ust_wal_nieust_oprawa	UW_06	UO_01
21	5	ust_wal_ust_oprawa	UW_07	UO_02
22	5	ust_wal_ust_oprawa	UW_07	UO_03
23	5	ust_wal_nieust_oprawa	UW_07	UO_01
24	15	ust_wal_ust_oprawa	UW_08	UO_04
25	5	ust_wal_ust_oprawa	UW_09	UO_02
26	5	ust_wal_ust_oprawa	UW_09	UO_03
27	5	ust_wal_nieust_oprawa	UW_09	UO_01
28	5	ust_wal_ust_oprawa	UW_10	UO_02
29	5	ust_wal_ust_oprawa	UW_10	UO_03
30	5	ust_wal_nieust_oprawa	UW_10	UO_01

Rozwiązania 1/2

IDnum	NumCases	UkladLozyskowaniaWalu	KonfiguracjaLozysk	UstalenieOsiowe	Rozwiazania
1	10	LSwob.LSwob	KL_01	UOL_01	RUL_01
2	10	LSwob.LSwob	KL_02	UOL_02	RUL_02
3	10	LSwob.LSwob	KL_03	UOL_01	RUL_03
4	10	LSwob.LSwob	KL_04	UOL_01	RUL_04
5	10	LUstal.LUstal	KL_05	UOL_03	RUL_05
6	10	LUstal.LUstal	KL_06	UOL_03	RUL_06
7	10	LUstal.LUstal	KL_05	UOL_04	RUL_07
8	10	LUstal.LUstal	KL_06	UOL_04	RUL_08
9	10	LSwob.LUstal	KL_01	UOL_05	RUL_09
10	10	LSwob.LUstal	KL_07	UOL_06	RUL_10
11	10	LSwob.LUstal	KL_08	UOL_07	RUL_11
13	10	LUstal.LUstal	KL_09	UOL_07	RUL_12
14	10	LUstal.LUstal	KL_10	UOL_07	RUL_13

Rozwiązania 2/2

IDnum	NumCases	CvsRozmiar Lozyska	Wzdłużne_ Poprzeczne	Graniczna Predkosc	Zlozonosc Rozwiazania	Rozwiazania
1	10	srednia	sredni	bardzo_duza	mala	RUL_01
2	10	duza	maly	duza	srednia	RUL_02
3	10	mala	maly	bardzo_duza	mala	RUL_03
4	10	bardzo_duza	maly	mala	mala	RUL_04
5	10	srednia	duzy	duza	srednia	RUL_05
6	10	duza	sredni	mala	srednia	RUL_06
7	10	srednia	duzy	duza	mala	RUL_07
8	10	duza	sredni	mala	mala	RUL_08
9	10	srednia	sredni	bardzo_duza	srednia	RUL_09
10	10	duza	maly	duza	srednia	RUL_10
11	10	duza	duzy	srednia	duza	RUL_11
13	10	srednia	duzy	duza	duza	RUL_12
14	10	duza	sredni	mala	duza	RUL_13

Konfiguracja łożysk 1/10

IDnum	NumCases	TypLozyskaL1	TypLozyskaL2	KonfiguracjaLozysk
1	10	kulkowe_zwykle	kulkowe_zwykle	KL_01
2	10	walcowe_NJ	walcowe_NJ	KL_02
3	10	kul_wahliwe	kul_wahliwe	KL_03
4	10	barylkowe_2rz	barylkowe_2rz	KL_04
5	10	kul_skosne_1rz	kul_skosne_1rz	KL_05
6	10	stozkowe	stozkowe	KL_06
7	10	walcowe_NUP	walcowe_NU	KL_07
8	10	kul_skosne_2rz	walcowe_N	KL_08
9	10	kul_skosne_1rz	walcowe_N	KL_09
10	10	stozkowe	walcowe_N	KL_10
11	5	kulkowe_zwykle	kul_skosne_1rz	inne
12	5	kulkowe_zwykle	kul_skosne_2rz	inne
13	5	kulkowe_zwykle	kul_skosne_1rz_QJ	inne
14	5	kulkowe_zwykle	kul_wahliwe	inne
15	5	kulkowe_zwykle	walcowe_N	inne
16	5	kulkowe_zwykle	walcowe_NU	inne
17	5	kulkowe_zwykle	walcowe_NJ	inne
18	5	kulkowe_zwykle	walcowe_NUP	inne
19	5	kulkowe_zwykle	igielkowe	inne
20	5	kulkowe_zwykle	stozkowe	inne
21	5	kulkowe_zwykle	barylkowe_2rz	inne
22	5	kulkowe_zwykle	wzd_kulkowe	inne
23	5	kulkowe_zwykle	wzd_kulkowe_skosne_1kier	inne
24	5	kulkowe_zwykle	wzd_walcowe	inne
25	5	kulkowe_zwykle	wzd_igielkowe	inne
26	5	kulkowe_zwykle	wzd_barylkowe	inne
27	5	kul_skosne_1rz	kulkowe_zwykle	inne
28	5	kul_skosne_1rz	kul_skosne_2rz	inne
29	5	kul_skosne_1rz	kul_skosne_1rz_QJ	inne
30	5	kul_skosne_1rz	kul_wahliwe	inne
31	5	kul_skosne_1rz	walcowe_NU	inne
32	5	kul_skosne_1rz	walcowe_NJ	inne
33	5	kul_skosne_1rz	walcowe_NUP	inne
34	5	kul_skosne_1rz	igielkowe	inne
35	5	kul_skosne_1rz	stozkowe	inne
36	5	kul_skosne_1rz	barylkowe_2rz	inne
37	5	kul_skosne_1rz	wzd_kulkowe	inne
38	5	kul_skosne_1rz	wzd_kulkowe_skosne_1kier	inne
39	5	kul_skosne_1rz	wzd_walcowe	inne
40	5	kul_skosne_1rz	wzd_igielkowe	inne
41	5	kul_skosne_1rz	wzd_barylkowe	inne
42	5	kul_skosne_2rz	kulkowe_zwykle	inne
43	5	kul_skosne_2rz	kul_skosne_1rz	inne
44	5	kul_skosne_2rz	kul_skosne_2rz	inne
45	5	kul_skosne_2rz	kul_skosne_1rz_QJ	inne
46	5	kul_skosne_2rz	kul_wahliwe	inne
47	5	kul_skosne_2rz	walcowe_NU	inne
48	5	kul_skosne_2rz	walcowe_NJ	inne
49	5	kul_skosne_2rz	walcowe_NUP	inne
50	5	kul_skosne_2rz	igielkowe	inne
51	5	kul_skosne_2rz	stozkowe	inne
52	5	kul_skosne_2rz	barylkowe_2rz	inne
53	5	kul_skosne_2rz	wzd_kulkowe	inne
54	5	kul_skosne_2rz	wzd_kulkowe_skosne_1kier	inne
55	5	kul_skosne_2rz	wzd_walcowe	inne
56	5	kul_skosne_2rz	wzd_igielkowe	inne
57	5	kul_skosne_2rz	wzd_barylkowe	inne
58	5	kul_skosne_1rz_QJ	kulkowe_zwykle	inne
59	5	kul_skosne_1rz_QJ	kul_skosne_1rz	inne
60	5	kul_skosne_1rz_QJ	kul_skosne_2rz	inne

Konfiguracja łożysk 2/10

IDnum	NumCases	TypLozyskaL1	TypLozyskaL2	KonfiguracjaLozysk
61	5	kul_skosne_1rz_QJ	kul_skosne_1rz_QJ	inne
62	5	kul_skosne_1rz_QJ	kul_wahliwe	inne
63	5	kul_skosne_1rz_QJ	walcowe_NU	inne
64	5	kul_skosne_1rz_QJ	walcowe_NJ	inne
65	5	kul_skosne_1rz_QJ	walcowe_NUP	inne
66	5	kul_skosne_1rz_QJ	igielkowe	inne
67	5	kul_skosne_1rz_QJ	stozkowe	inne
68	5	kul_skosne_1rz_QJ	barylkowe_2rz	inne
69	5	kul_skosne_1rz_QJ	wzd_kulkowe	inne
70	5	kul_skosne_1rz_QJ	wzd_kulkowe_skosne_1kier	inne
71	5	kul_skosne_1rz_QJ	wzd_walcowe	inne
72	5	kul_skosne_1rz_QJ	wzd_igielkowe	inne
73	5	kul_skosne_1rz_QJ	wzd_barylkowe	inne
74	5	kul_wahliwe	kulkowe_zwykle	inne
75	5	kul_wahliwe	kul_skosne_1rz	inne
76	5	kul_wahliwe	kul_skosne_2rz	inne
77	5	kul_wahliwe	kul_skosne_1rz_QJ	inne
78	5	kul_wahliwe	walcowe_N	inne
79	5	kul_wahliwe	walcowe_NU	inne
80	5	kul_wahliwe	walcowe_NJ	inne
81	5	kul_wahliwe	walcowe_NUP	inne
82	5	kul_wahliwe	igielkowe	inne
83	5	kul_wahliwe	stozkowe	inne
84	5	kul_wahliwe	barylkowe_2rz	inne
85	5	kul_wahliwe	wzd_kulkowe	inne
86	5	kul_wahliwe	wzd_kulkowe_skosne_1kier	inne
87	5	kul_wahliwe	wzd_walcowe	inne
88	5	kul_wahliwe	wzd_igielkowe	inne
89	5	kul_wahliwe	wzd_barylkowe	inne
90	5	walcowe_N	kulkowe_zwykle	inne
91	5	walcowe_N	kul_skosne_1rz	inne
92	5	walcowe_N	kul_skosne_2rz	inne
93	5	walcowe_N	kul_skosne_1rz_QJ	inne
94	5	walcowe_N	kul_wahliwe	inne
95	5	walcowe_N	walcowe_NU	inne
96	5	walcowe_N	walcowe_NJ	inne
97	5	walcowe_N	walcowe_NUP	inne
98	5	walcowe_N	igielkowe	inne
99	5	walcowe_N	stozkowe	inne
100	5	walcowe_N	barylkowe_2rz	inne
101	5	walcowe_N	wzd_kulkowe	inne
102	5	walcowe_N	wzd_kulkowe_skosne_1kier	inne
103	5	walcowe_N	wzd_walcowe	inne
104	5	walcowe_N	wzd_igielkowe	inne
105	5	walcowe_N	wzd_barylkowe	inne
106	5	walcowe_NU	kulkowe_zwykle	inne
107	5	walcowe_NU	kul_skosne_1rz	inne
108	5	walcowe_NU	kul_skosne_2rz	inne
109	5	walcowe_NU	kul_skosne_1rz_QJ	inne
110	5	walcowe_NU	kul_wahliwe	inne
111	5	walcowe_NU	walcowe_NU	inne
112	5	walcowe_NU	walcowe_NJ	inne
113	5	walcowe_NU	walcowe_NUP	inne
114	5	walcowe_NU	igielkowe	inne
115	5	walcowe_NU	stozkowe	inne
116	5	walcowe_NU	barylkowe_2rz	inne
117	5	walcowe_NU	wzd_kulkowe	inne
118	5	walcowe_NU	wzd_kulkowe_skosne_1kier	inne
119	5	walcowe_NU	wzd_walcowe	inne
120	5	walcowe_NU	wzd_igielkowe	inne

Konfiguracja łożysk 3/10

IDnum	NumCases	TypLozyskaL1	TypLozyskaL2	KonfiguracjaLozysk
121	5	walcowe_NU	wzd_barylkowe	inne
122	5	walcowe_NJ	kulkowe_zwykle	inne
123	5	walcowe_NJ	kul_skosne_1rz	inne
124	5	walcowe_NJ	kul_skosne_2rz	inne
125	5	walcowe_NJ	kul_skosne_1rz_QJ	inne
126	5	walcowe_NJ	kul_wahliwe	inne
127	5	walcowe_NJ	walcowe_N	inne
128	5	walcowe_NJ	walcowe_NU	inne
129	5	walcowe_NJ	walcowe_NUP	inne
130	5	walcowe_NJ	igielkowe	inne
131	5	walcowe_NJ	stozkowe	inne
132	5	walcowe_NJ	barylkowe_2rz	inne
133	5	walcowe_NJ	wzd_kulkowe	inne
134	5	walcowe_NJ	wzd_kulkowe_skosne_1kier	inne
135	5	walcowe_NJ	wzd_walcowe	inne
136	5	walcowe_NJ	wzd_igielkowe	inne
137	5	walcowe_NJ	wzd_barylkowe	inne
138	5	walcowe_NUP	kulkowe_zwykle	inne
139	5	walcowe_NUP	kul_skosne_1rz	inne
140	5	walcowe_NUP	kul_skosne_2rz	inne
141	5	walcowe_NUP	kul_skosne_1rz_QJ	inne
142	5	walcowe_NUP	kul_wahliwe	inne
143	5	walcowe_NUP	walcowe_NU	inne
144	5	walcowe_NUP	walcowe_NJ	inne
145	5	walcowe_NUP	walcowe_NUP	inne
146	5	walcowe_NUP	igielkowe	inne
147	5	walcowe_NUP	stozkowe	inne
148	5	walcowe_NUP	barylkowe_2rz	inne
149	5	walcowe_NUP	wzd_kulkowe	inne
150	5	walcowe_NUP	wzd_kulkowe_skosne_1kier	inne
151	5	walcowe_NUP	wzd_walcowe	inne
152	5	walcowe_NUP	wzd_igielkowe	inne
153	5	walcowe_NUP	wzd_barylkowe	inne
154	5	igielkowe	kulkowe_zwykle	inne
155	5	igielkowe	kul_skosne_1rz	inne
156	5	igielkowe	kul_skosne_2rz	inne
157	5	igielkowe	kul_skosne_1rz_QJ	inne
158	5	igielkowe	kul_wahliwe	inne
159	5	igielkowe	walcowe_N	inne
160	5	igielkowe	walcowe_NU	inne
161	5	igielkowe	walcowe_NJ	inne
162	5	igielkowe	walcowe_NUP	inne
163	5	igielkowe	igielkowe	inne
164	5	igielkowe	stozkowe	inne
165	5	igielkowe	barylkowe_2rz	inne
166	5	igielkowe	wzd_kulkowe	inne
167	5	igielkowe	wzd_kulkowe_skosne_1kier	inne
168	5	igielkowe	wzd_walcowe	inne
169	5	igielkowe	wzd_igielkowe	inne
170	5	igielkowe	wzd_barylkowe	inne
171	5	stozkowe	kulkowe_zwykle	inne
172	5	stozkowe	kul_skosne_1rz	inne
173	5	stozkowe	kul_skosne_2rz	inne
174	5	stozkowe	kul_skosne_1rz_QJ	inne
175	5	stozkowe	kul_wahliwe	inne
176	5	stozkowe	walcowe_NU	inne
177	5	stozkowe	walcowe_NJ	inne
178	5	stozkowe	walcowe_NUP	inne
179	5	stozkowe	igielkowe	inne
180	5	stozkowe	barylkowe_2rz	inne

Konfiguracja łożysk 4/10

IDnum	NumCases	TypLozyskaL1	TypLozyskaL2	KonfiguracjaLozysk
181	5	stozkowe	wzd_kulkowe	inne
182	5	stozkowe	wzd_kulkowe_skosne_1kier	inne
183	5	stozkowe	wzd_walcowe	inne
184	5	stozkowe	wzd_igielkowe	inne
185	5	stozkowe	wzd_barylkowe	inne
186	5	barylkowe_2rz	kulkowe_zwykle	inne
187	5	barylkowe_2rz	kul_skosne_1rz	inne
188	5	barylkowe_2rz	kul_skosne_2rz	inne
189	5	barylkowe_2rz	kul_skosne_1rz_QJ	inne
190	5	barylkowe_2rz	kul_wahliwe	inne
191	5	barylkowe_2rz	walcowe_N	inne
192	5	barylkowe_2rz	walcowe_NU	inne
193	5	barylkowe_2rz	walcowe_NJ	inne
194	5	barylkowe_2rz	walcowe_NUP	inne
195	5	barylkowe_2rz	igielkowe	inne
196	5	barylkowe_2rz	stozkowe	inne
197	5	barylkowe_2rz	barylkowe_2rz	inne
198	5	barylkowe_2rz	wzd_kulkowe	inne
199	5	barylkowe_2rz	wzd_kulkowe_skosne_1kier	inne
200	5	barylkowe_2rz	wzd_walcowe	inne
201	5	barylkowe_2rz	wzd_igielkowe	inne
202	5	barylkowe_2rz	wzd_barylkowe	inne
203	5	wzd_kulkowe	kulkowe_zwykle	inne
204	5	wzd_kulkowe	kul_skosne_1rz	inne
205	5	wzd_kulkowe	kul_skosne_2rz	inne
206	5	wzd_kulkowe	kul_skosne_1rz_QJ	inne
207	5	wzd_kulkowe	kul_wahliwe	inne
208	5	wzd_kulkowe	walcowe_NU	inne
209	5	wzd_kulkowe	walcowe_NJ	inne
210	5	wzd_kulkowe	walcowe_NUP	inne
211	5	wzd_kulkowe	igielkowe	inne
212	5	wzd_kulkowe	stozkowe	inne
213	5	wzd_kulkowe	barylkowe_2rz	inne
214	5	wzd_kulkowe	wzd_kulkowe	inne
215	5	wzd_kulkowe	wzd_kulkowe_skosne_1kier	inne
216	5	wzd_kulkowe	wzd_walcowe	inne
217	5	wzd_kulkowe	wzd_igielkowe	inne
218	5	wzd_kulkowe	wzd_barylkowe	inne
219	5	wzd_kulkowe_skosne_1kier	kulkowe_zwykle	inne
220	5	wzd_kulkowe_skosne_1kier	kul_skosne_1rz	inne
221	5	wzd_kulkowe_skosne_1kier	kul_skosne_2rz	inne
222	5	wzd_kulkowe_skosne_1kier	kul_skosne_1rz_QJ	inne
223	5	wzd_kulkowe_skosne_1kier	kul_wahliwe	inne
224	5	wzd_kulkowe_skosne_1kier	walcowe_NU	inne
225	5	wzd_kulkowe_skosne_1kier	walcowe_NJ	inne
226	5	wzd_kulkowe_skosne_1kier	walcowe_NUP	inne
227	5	wzd_kulkowe_skosne_1kier	igielkowe	inne
228	5	wzd_kulkowe_skosne_1kier	stozkowe	inne
229	5	wzd_kulkowe_skosne_1kier	barylkowe_2rz	inne
230	5	wzd_kulkowe_skosne_1kier	wzd_kulkowe	inne
231	5	wzd_kulkowe_skosne_1kier	wzd_kulkowe_skosne_1kier	inne
232	5	wzd_kulkowe_skosne_1kier	wzd_walcowe	inne
233	5	wzd_kulkowe_skosne_1kier	wzd_igielkowe	inne
234	5	wzd_kulkowe_skosne_1kier	wzd_barylkowe	inne
235	5	wzd_walcowe	kulkowe_zwykle	inne
236	5	wzd_walcowe	kul_skosne_1rz	inne
237	5	wzd_walcowe	kul_skosne_2rz	inne
238	5	wzd_walcowe	kul_skosne_1rz_QJ	inne
239	5	wzd_walcowe	kul_wahliwe	inne
240	5	wzd_walcowe	walcowe_NU	inne

Konfiguracja łożysk 5/10

IDnum	NumCases	TypLozyskaL1	TypLozyskaL2	KonfiguracjaLozysk
241	5	wzd_walcowe	walcowe_NJ	inne
242	5	wzd_walcowe	walcowe_NUP	inne
243	5	wzd_walcowe	igielkowe	inne
244	5	wzd_walcowe	stozkowe	inne
245	5	wzd_walcowe	barylkowe_2rz	inne
246	5	wzd_walcowe	wzd_kulkowe	inne
247	5	wzd_walcowe	wzd_kulkowe_skosne_1kier	inne
248	5	wzd_walcowe	wzd_walcowe	inne
249	5	wzd_walcowe	wzd_igielkowe	inne
250	5	wzd_walcowe	wzd_barylkowe	inne
251	5	wzd_igielkowe	kulkowe_zwykle	inne
252	5	wzd_igielkowe	kul_skosne_1rz	inne
253	5	wzd_igielkowe	kul_skosne_2rz	inne
254	5	wzd_igielkowe	kul_skosne_1rz_QJ	inne
255	5	wzd_igielkowe	kul_wahliwe	inne
256	5	wzd_igielkowe	walcowe_NU	inne
257	5	wzd_igielkowe	walcowe_NJ	inne
258	5	wzd_igielkowe	walcowe_NUP	inne
259	5	wzd_igielkowe	igielkowe	inne
260	5	wzd_igielkowe	stozkowe	inne
261	5	wzd_igielkowe	barylkowe_2rz	inne
262	5	wzd_igielkowe	wzd_kulkowe	inne
263	5	wzd_igielkowe	wzd_kulkowe_skosne_1kier	inne
264	5	wzd_igielkowe	wzd_walcowe	inne
265	5	wzd_igielkowe	wzd_igielkowe	inne
266	5	wzd_igielkowe	wzd_barylkowe	inne
267	5	wzd_barylkowe	kulkowe_zwykle	inne
268	5	wzd_barylkowe	kul_skosne_1rz	inne
269	5	wzd_barylkowe	kul_skosne_2rz	inne
270	5	wzd_barylkowe	kul_skosne_1rz_QJ	inne
271	5	wzd_barylkowe	kul_wahliwe	inne
272	5	wzd_barylkowe	walcowe_NU	inne
273	5	wzd_barylkowe	walcowe_NJ	inne
274	5	wzd_barylkowe	walcowe_NUP	inne
275	5	wzd_barylkowe	igielkowe	inne
276	5	wzd_barylkowe	stozkowe	inne
277	5	wzd_barylkowe	barylkowe_2rz	inne
278	5	wzd_barylkowe	wzd_kulkowe	inne
279	5	wzd_barylkowe	wzd_kulkowe_skosne_1kier	inne
280	5	wzd_barylkowe	wzd_walcowe	inne
281	5	wzd_barylkowe	wzd_igielkowe	inne
282	5	wzd_barylkowe	wzd_barylkowe	inne
283	5	kul_skosne_1rz	kulkowe_zwykle	inne
284	5	kul_skosne_2rz	kulkowe_zwykle	inne
285	5	kul_skosne_1rz_QJ	kulkowe_zwykle	inne
286	5	kul_wahliwe	kulkowe_zwykle	inne
287	5	walcowe_N	kulkowe_zwykle	inne
288	5	walcowe_NU	kulkowe_zwykle	inne
289	5	walcowe_NJ	kulkowe_zwykle	inne
290	5	walcowe_NUP	kulkowe_zwykle	inne
291	5	igielkowe	kulkowe_zwykle	inne
292	5	stozkowe	kulkowe_zwykle	inne
293	5	barylkowe_2rz	kulkowe_zwykle	inne
294	5	wzd_kulkowe	kulkowe_zwykle	inne
295	5	wzd_kulkowe_skosne_1kier	kulkowe_zwykle	inne
296	5	wzd_walcowe	kulkowe_zwykle	inne
297	5	wzd_igielkowe	kulkowe_zwykle	inne
298	5	wzd_barylkowe	kulkowe_zwykle	inne
299	5	kulkowe_zwykle	kul_skosne_1rz	inne
300	5	kul_skosne_2rz	kul_skosne_1rz	inne

Konfiguracja łożysk 6/10

IDnum	NumCases	TypLozyskaL1	TypLozyskaL2	KonfiguracjaLozysk
301	5	kul_skosne.1rz_QJ	kul_skosne.1rz	inne
302	5	kul_wahliwe	kul_skosne.1rz	inne
303	5	walcowe.NU	kul_skosne.1rz	inne
304	5	walcowe.NJ	kul_skosne.1rz	inne
305	5	walcowe.NUP	kul_skosne.1rz	inne
306	5	igielkowe	kul_skosne.1rz	inne
307	5	stozkowe	kul_skosne.1rz	inne
308	5	barylkowe.2rz	kul_skosne.1rz	inne
309	5	wzd_kulkowe	kul_skosne.1rz	inne
310	5	wzd_kulkowe_skosne.1kier	kul_skosne.1rz	inne
311	5	wzd_walcowe	kul_skosne.1rz	inne
312	5	wzd_igielkowe	kul_skosne.1rz	inne
313	5	wzd_barylkowe	kul_skosne.1rz	inne
314	5	kulkowe_zwykle	kul_skosne.2rz	inne
315	5	kul_skosne.1rz	kul_skosne.2rz	inne
316	5	kul_skosne.2rz	kul_skosne.2rz	inne
317	5	kul_skosne.1rz_QJ	kul_skosne.2rz	inne
318	5	kul_wahliwe	kul_skosne.2rz	inne
319	5	walcowe.NU	kul_skosne.2rz	inne
320	5	walcowe.NJ	kul_skosne.2rz	inne
321	5	walcowe.NUP	kul_skosne.2rz	inne
322	5	igielkowe	kul_skosne.2rz	inne
323	5	stozkowe	kul_skosne.2rz	inne
324	5	barylkowe.2rz	kul_skosne.2rz	inne
325	5	wzd_kulkowe	kul_skosne.2rz	inne
326	5	wzd_kulkowe_skosne.1kier	kul_skosne.2rz	inne
327	5	wzd_walcowe	kul_skosne.2rz	inne
328	5	wzd_igielkowe	kul_skosne.2rz	inne
329	5	wzd_barylkowe	kul_skosne.2rz	inne
330	5	kulkowe_zwykle	kul_skosne.1rz_QJ	inne
331	5	kul_skosne.1rz	kul_skosne.1rz_QJ	inne
332	5	kul_skosne.2rz	kul_skosne.1rz_QJ	inne
333	5	kul_skosne.1rz_QJ	kul_skosne.1rz_QJ	inne
334	5	kul_wahliwe	kul_skosne.1rz_QJ	inne
335	5	walcowe.NU	kul_skosne.1rz_QJ	inne
336	5	walcowe.NJ	kul_skosne.1rz_QJ	inne
337	5	walcowe.NUP	kul_skosne.1rz_QJ	inne
338	5	igielkowe	kul_skosne.1rz_QJ	inne
339	5	stozkowe	kul_skosne.1rz_QJ	inne
340	5	barylkowe.2rz	kul_skosne.1rz_QJ	inne
341	5	wzd_kulkowe	kul_skosne.1rz_QJ	inne
342	5	wzd_kulkowe_skosne.1kier	kul_skosne.1rz_QJ	inne
343	5	wzd_walcowe	kul_skosne.1rz_QJ	inne
344	5	wzd_igielkowe	kul_skosne.1rz_QJ	inne
345	5	wzd_barylkowe	kul_skosne.1rz_QJ	inne
346	5	kulkowe_zwykle	kul_wahliwe	inne
347	5	kul_skosne.1rz	kul_wahliwe	inne
348	5	kul_skosne.2rz	kul_wahliwe	inne
349	5	kul_skosne.1rz_QJ	kul_wahliwe	inne
350	5	walcowe.N	kul_wahliwe	inne
351	5	walcowe.NU	kul_wahliwe	inne
352	5	walcowe.NJ	kul_wahliwe	inne
353	5	walcowe.NUP	kul_wahliwe	inne
354	5	igielkowe	kul_wahliwe	inne
355	5	stozkowe	kul_wahliwe	inne
356	5	barylkowe.2rz	kul_wahliwe	inne
357	5	wzd_kulkowe	kul_wahliwe	inne
358	5	wzd_kulkowe_skosne.1kier	kul_wahliwe	inne
359	5	wzd_walcowe	kul_wahliwe	inne
360	5	wzd_igielkowe	kul_wahliwe	inne

Konfiguracja łożysk 7/10

IDnum	NumCases	TypLozyskaL1	TypLozyskaL2	KonfiguracjaLozysk
361	5	wzd_barylkowe	kul_wahliwe	inne
362	5	kulkowe_zwykle	walcowe_N	inne
363	5	kul_skosne_1rz	walcowe_N	inne
364	5	kul_skosne_2rz	walcowe_N	inne
365	5	kul_skosne_1rz_QJ	walcowe_N	inne
366	5	kul_wahliwe	walcowe_N	inne
367	5	walcowe_NU	walcowe_N	inne
368	5	walcowe_NJ	walcowe_N	inne
369	5	walcowe_NUP	walcowe_N	inne
370	5	igielkowe	walcowe_N	inne
371	5	stozkowe	walcowe_N	inne
372	5	barylkowe_2rz	walcowe_N	inne
373	5	wzd_kulkowe	walcowe_N	inne
374	5	wzd_kulkowe_skosne_1kier	walcowe_N	inne
375	5	wzd_walcowe	walcowe_N	inne
376	5	wzd_igielkowe	walcowe_N	inne
377	5	wzd_barylkowe	walcowe_N	inne
378	5	kulkowe_zwykle	walcowe_NU	inne
379	5	kul_skosne_1rz	walcowe_NU	inne
380	5	kul_skosne_2rz	walcowe_NU	inne
381	5	kul_skosne_1rz_QJ	walcowe_NU	inne
382	5	kul_wahliwe	walcowe_NU	inne
383	5	walcowe_NU	walcowe_NU	inne
384	5	walcowe_NJ	walcowe_NU	inne
385	5	walcowe_NUP	walcowe_NU	inne
386	5	igielkowe	walcowe_NU	inne
387	5	stozkowe	walcowe_NU	inne
388	5	barylkowe_2rz	walcowe_NU	inne
389	5	wzd_kulkowe	walcowe_NU	inne
390	5	wzd_kulkowe_skosne_1kier	walcowe_NU	inne
391	5	wzd_walcowe	walcowe_NU	inne
392	5	wzd_igielkowe	walcowe_NU	inne
393	5	wzd_barylkowe	walcowe_NU	inne
394	5	kulkowe_zwykle	walcowe_NJ	inne
395	5	kul_skosne_1rz	walcowe_NJ	inne
396	5	kul_skosne_2rz	walcowe_NJ	inne
397	5	kul_skosne_1rz_QJ	walcowe_NJ	inne
398	5	kul_wahliwe	walcowe_NJ	inne
399	5	walcowe_N	walcowe_NJ	inne
400	5	walcowe_NU	walcowe_NJ	inne
401	5	walcowe_NUP	walcowe_NJ	inne
402	5	igielkowe	walcowe_NJ	inne
403	5	stozkowe	walcowe_NJ	inne
404	5	barylkowe_2rz	walcowe_NJ	inne
405	5	wzd_kulkowe	walcowe_NJ	inne
406	5	wzd_kulkowe_skosne_1kier	walcowe_NJ	inne
407	5	wzd_walcowe	walcowe_NJ	inne
408	5	wzd_igielkowe	walcowe_NJ	inne
409	5	wzd_barylkowe	walcowe_NJ	inne
410	5	kulkowe_zwykle	walcowe_NUP	inne
411	5	kul_skosne_1rz	walcowe_NUP	inne
412	5	kul_skosne_2rz	walcowe_NUP	inne
413	5	kul_skosne_1rz_QJ	walcowe_NUP	inne
414	5	kul_wahliwe	walcowe_NUP	inne
415	5	walcowe_NU	walcowe_NUP	inne
416	5	walcowe_NJ	walcowe_NUP	inne
417	5	walcowe_NUP	walcowe_NUP	inne
418	5	igielkowe	walcowe_NUP	inne
419	5	stozkowe	walcowe_NUP	inne
420	5	barylkowe_2rz	walcowe_NUP	inne

Konfiguracja łożysk 8/10

IDnum	NumCases	TypLozyskaL1	TypLozyskaL2	KonfiguracjaLozysk
421	5	wzd_kulkowe	walcowe_NUP	inne
422	5	wzd_kulkowe_skosne_1kier	walcowe_NUP	inne
423	5	wzd_walcowe	walcowe_NUP	inne
424	5	wzd_igielkowe	walcowe_NUP	inne
425	5	wzd_barylkowe	walcowe_NUP	inne
426	5	kulkowe_zwykle	igielkowe	inne
427	5	kul_skosne_1rz	igielkowe	inne
428	5	kul_skosne_2rz	igielkowe	inne
429	5	kul_skosne_1rz_QJ	igielkowe	inne
430	5	kul_wahliwe	igielkowe	inne
431	5	walcowe_N	igielkowe	inne
432	5	walcowe_NU	igielkowe	inne
433	5	walcowe_NJ	igielkowe	inne
434	5	walcowe_NUP	igielkowe	inne
435	5	igielkowe	igielkowe	inne
436	5	stozkowe	igielkowe	inne
437	5	barylkowe_2rz	igielkowe	inne
438	5	wzd_kulkowe	igielkowe	inne
439	5	wzd_kulkowe_skosne_1kier	igielkowe	inne
440	5	wzd_walcowe	igielkowe	inne
441	5	wzd_igielkowe	igielkowe	inne
442	5	wzd_barylkowe	igielkowe	inne
443	5	kulkowe_zwykle	stozkowe	inne
444	5	kul_skosne_1rz	stozkowe	inne
445	5	kul_skosne_2rz	stozkowe	inne
446	5	kul_skosne_1rz_QJ	stozkowe	inne
447	5	kul_wahliwe	stozkowe	inne
448	5	walcowe_NU	stozkowe	inne
449	5	walcowe_NJ	stozkowe	inne
450	5	walcowe_NUP	stozkowe	inne
451	5	igielkowe	stozkowe	inne
452	5	barylkowe_2rz	stozkowe	inne
453	5	wzd_kulkowe	stozkowe	inne
454	5	wzd_kulkowe_skosne_1kier	stozkowe	inne
455	5	wzd_walcowe	stozkowe	inne
456	5	wzd_igielkowe	stozkowe	inne
457	5	wzd_barylkowe	stozkowe	inne
458	5	kulkowe_zwykle	barylkowe_2rz	inne
459	5	kul_skosne_1rz	barylkowe_2rz	inne
460	5	kul_skosne_2rz	barylkowe_2rz	inne
461	5	kul_skosne_1rz_QJ	barylkowe_2rz	inne
462	5	kul_wahliwe	barylkowe_2rz	inne
463	5	walcowe_N	barylkowe_2rz	inne
464	5	walcowe_NU	barylkowe_2rz	inne
465	5	walcowe_NJ	barylkowe_2rz	inne
466	5	walcowe_NUP	barylkowe_2rz	inne
467	5	igielkowe	barylkowe_2rz	inne
468	5	stozkowe	barylkowe_2rz	inne
469	5	barylkowe_2rz	barylkowe_2rz	inne
470	5	wzd_kulkowe	barylkowe_2rz	inne
471	5	wzd_kulkowe_skosne_1kier	barylkowe_2rz	inne
472	5	wzd_walcowe	barylkowe_2rz	inne
473	5	wzd_igielkowe	barylkowe_2rz	inne
474	5	wzd_barylkowe	barylkowe_2rz	inne
475	5	kulkowe_zwykle	wzd_kulkowe	inne
476	5	kul_skosne_1rz	wzd_kulkowe	inne
477	5	kul_skosne_2rz	wzd_kulkowe	inne
478	5	kul_skosne_1rz_QJ	wzd_kulkowe	inne
479	5	kul_wahliwe	wzd_kulkowe	inne
480	5	walcowe_NU	wzd_kulkowe	inne

Konfiguracja łożysk 9/10

IDnum	NumCases	TypLozyskaL1	TypLozyskaL2	KonfiguracjaLozysk
481	5	walcowe_NJ	wzd_kulkowe	inne
482	5	walcowe_NUP	wzd_kulkowe	inne
483	5	igielkowe	wzd_kulkowe	inne
484	5	stozkowe	wzd_kulkowe	inne
485	5	barylkowe_2rz	wzd_kulkowe	inne
486	5	wzd_kulkowe	wzd_kulkowe	inne
487	5	wzd_kulkowe_skosne_1kier	wzd_kulkowe	inne
488	5	wzd_walcowe	wzd_kulkowe	inne
489	5	wzd_igielkowe	wzd_kulkowe	inne
490	5	wzd_barylkowe	wzd_kulkowe	inne
491	5	kulkowe_zwykle	wzd_kulkowe_skosne_1kier	inne
492	5	kul_skosne_1rz	wzd_kulkowe_skosne_1kier	inne
493	5	kul_skosne_2rz	wzd_kulkowe_skosne_1kier	inne
494	5	kul_skosne_1rz_QJ	wzd_kulkowe_skosne_1kier	inne
495	5	kul_wahliwe	wzd_kulkowe_skosne_1kier	inne
496	5	walcowe_NU	wzd_kulkowe_skosne_1kier	inne
497	5	walcowe_NJ	wzd_kulkowe_skosne_1kier	inne
498	5	walcowe_NUP	wzd_kulkowe_skosne_1kier	inne
499	5	igielkowe	wzd_kulkowe_skosne_1kier	inne
500	5	stozkowe	wzd_kulkowe_skosne_1kier	inne
501	5	barylkowe_2rz	wzd_kulkowe_skosne_1kier	inne
502	5	wzd_kulkowe	wzd_kulkowe_skosne_1kier	inne
503	5	wzd_kulkowe_skosne_1kier	wzd_kulkowe_skosne_1kier	inne
504	5	wzd_walcowe	wzd_kulkowe_skosne_1kier	inne
505	5	wzd_igielkowe	wzd_kulkowe_skosne_1kier	inne
506	5	wzd_barylkowe	wzd_kulkowe_skosne_1kier	inne
507	5	kulkowe_zwykle	wzd_walcowe	inne
508	5	kul_skosne_1rz	wzd_walcowe	inne
509	5	kul_skosne_2rz	wzd_walcowe	inne
510	5	kul_skosne_1rz_QJ	wzd_walcowe	inne
511	5	kul_wahliwe	wzd_walcowe	inne
512	5	walcowe_NU	wzd_walcowe	inne
513	5	walcowe_NJ	wzd_walcowe	inne
514	5	walcowe_NUP	wzd_walcowe	inne
515	5	igielkowe	wzd_walcowe	inne
516	5	stozkowe	wzd_walcowe	inne
517	5	barylkowe_2rz	wzd_walcowe	inne
518	5	wzd_kulkowe	wzd_walcowe	inne
519	5	wzd_kulkowe_skosne_1kier	wzd_walcowe	inne
520	5	wzd_walcowe	wzd_walcowe	inne
521	5	wzd_igielkowe	wzd_walcowe	inne
522	5	wzd_barylkowe	wzd_walcowe	inne
523	5	kulkowe_zwykle	wzd_igielkowe	inne
524	5	kul_skosne_1rz	wzd_igielkowe	inne
525	5	kul_skosne_2rz	wzd_igielkowe	inne
526	5	kul_skosne_1rz_QJ	wzd_igielkowe	inne
527	5	kul_wahliwe	wzd_igielkowe	inne
528	5	walcowe_NU	wzd_igielkowe	inne
529	5	walcowe_NJ	wzd_igielkowe	inne
530	5	walcowe_NUP	wzd_igielkowe	inne
531	5	igielkowe	wzd_igielkowe	inne
532	5	stozkowe	wzd_igielkowe	inne
533	5	barylkowe_2rz	wzd_igielkowe	inne
534	5	wzd_kulkowe	wzd_igielkowe	inne
535	5	wzd_kulkowe_skosne_1kier	wzd_igielkowe	inne
536	5	wzd_walcowe	wzd_igielkowe	inne
537	5	wzd_igielkowe	wzd_igielkowe	inne
538	5	wzd_barylkowe	wzd_igielkowe	inne
539	5	kulkowe_zwykle	wzd_barylkowe	inne
540	5	kul_skosne_1rz	wzd_barylkowe	inne

Konfiguracja łożysk 10/10

IDnum	NumCases	TypLozyskaL1	TypLozyskaL2	KonfiguracjaLozysk
541	5	kul_skosne_2rz	wzd_barylkowe	inne
542	5	kul_skosne_1rz_QJ	wzd_barylkowe	inne
543	5	kul_wahliwe	wzd_barylkowe	inne
544	5	walcowe_NU	wzd_barylkowe	inne
545	5	walcowe_NJ	wzd_barylkowe	inne
546	5	walcowe_NUP	wzd_barylkowe	inne
547	5	igielkowe	wzd_barylkowe	inne
548	5	stozkowe	wzd_barylkowe	inne
549	5	barylkowe_2rz	wzd_barylkowe	inne
550	5	wzd_kulkowe	wzd_barylkowe	inne
551	5	wzd_kulkowe_skosne_1kier	wzd_barylkowe	inne
552	5	wzd_walcowe	wzd_barylkowe	inne
553	5	wzd_igielkowe	wzd_barylkowe	inne
554	5	wzd_barylkowe	wzd_barylkowe	inne

Ustalenie osiowe - węzeł 1 i 2 1/2

IDnum	NumCases	Ustalenie Wall1	Ustalenie OprawaL1	Ustalenie Wall2	Ustalenie OprawaL2	Ustalenie Osiowe
1	5	UW_01	UO_01	UW_01	UO_01	UOL_01
2	5	UW_01	UO_03	UW_01	UO_03	UOL_02
3	5	UW_08	UO_04	UW_01	UO_04	UOL_03
4	5	UW_01	UO_05	UW_01	UO_05	UOL_04
5	5	UW_04	UO_03	UW_07	UO_01	UOL_05
6	5	UW_04	UO_03	UW_07	UO_03	UOL_06
7	5	UW_02	UO_03	UW_04	UO_03	UOL_07
8	5	UW_01	UO_02	*	*	inne
9	5	UW_01	UO_04	*	*	inne
10	5	UW_02	UO_01	*	*	inne
11	5	UW_02	UO_02	*	*	inne
12	5	UW_02	UO_04	*	*	inne
13	5	UW_02	UO_05	*	*	inne
14	5	UW_03	UO_01	*	*	inne
15	5	UW_03	UO_02	*	*	inne
16	5	UW_03	UO_03	*	*	inne
17	5	UW_03	UO_04	*	*	inne
18	5	UW_03	UO_05	*	*	inne
19	5	UW_04	UO_01	*	*	inne
20	5	UW_04	UO_02	*	*	inne
21	5	UW_04	UO_04	*	*	inne
22	5	UW_04	UO_05	*	*	inne
23	5	UW_05	UO_01	*	*	inne
24	5	UW_05	UO_02	*	*	inne
25	5	UW_05	UO_03	*	*	inne
26	5	UW_05	UO_04	*	*	inne
27	5	UW_05	UO_05	*	*	inne
28	5	UW_06	UO_01	*	*	inne
29	5	UW_06	UO_02	*	*	inne
30	5	UW_06	UO_03	*	*	inne
31	5	UW_06	UO_04	*	*	inne
32	5	UW_06	UO_05	*	*	inne
33	5	UW_07	UO_01	*	*	inne
34	5	UW_07	UO_02	*	*	inne
35	5	UW_07	UO_03	*	*	inne
36	5	UW_07	UO_04	*	*	inne
37	5	UW_07	UO_05	*	*	inne
38	5	UW_08	UO_01	*	*	inne
39	5	UW_08	UO_02	*	*	inne
40	5	UW_08	UO_03	*	*	inne
41	5	UW_08	UO_05	*	*	inne
42	5	UW_09	UO_01	*	*	inne
43	5	UW_09	UO_02	*	*	inne
44	5	UW_09	UO_03	*	*	inne
45	5	UW_09	UO_04	*	*	inne
46	5	UW_09	UO_05	*	*	inne
47	5	UW_10	UO_01	*	*	inne
48	5	UW_10	UO_02	*	*	inne
49	5	UW_10	UO_03	*	*	inne
50	5	UW_10	UO_04	*	*	inne
51	5	UW_10	UO_05	*	*	inne
52	5	*	*	UW_01	UO_02	inne
53	5	*	*	UW_01	UO_04	inne
54	5	*	*	UW_02	UO_01	inne
55	5	*	*	UW_02	UO_02	inne
56	5	*	*	UW_02	UO_04	inne
57	5	*	*	UW_02	UO_05	inne
58	5	*	*	UW_03	UO_01	inne
59	5	*	*	UW_03	UO_02	inne
60	5	*	*	UW_03	UO_03	inne

Ustalenie osiowe - węzeł 1 i 2 2/2

IDnum	NumCases	Ustalenie WalL1	Ustalenie OprawaL1	Ustalenie WalL2	Ustalenie OprawaL2	Ustalenie Osiove
61	5	*	*	UW_03	UO_04	inne
62	5	*	*	UW_03	UO_05	inne
63	5	*	*	UW_04	UO_01	inne
64	5	*	*	UW_04	UO_02	inne
65	5	*	*	UW_04	UO_04	inne
66	5	*	*	UW_04	UO_05	inne
67	5	*	*	UW_05	UO_01	inne
68	5	*	*	UW_05	UO_02	inne
69	5	*	*	UW_05	UO_03	inne
70	5	*	*	UW_05	UO_04	inne
71	5	*	*	UW_05	UO_05	inne
72	5	*	*	UW_06	UO_01	inne
73	5	*	*	UW_06	UO_02	inne
74	5	*	*	UW_06	UO_03	inne
75	5	*	*	UW_06	UO_04	inne
76	5	*	*	UW_06	UO_05	inne
77	5	*	*	UW_07	UO_01	inne
78	5	*	*	UW_07	UO_02	inne
79	5	*	*	UW_07	UO_03	inne
80	5	*	*	UW_07	UO_04	inne
81	5	*	*	UW_07	UO_05	inne
82	5	*	*	UW_08	UO_01	inne
83	5	*	*	UW_08	UO_02	inne
84	5	*	*	UW_08	UO_03	inne
85	5	*	*	UW_08	UO_05	inne
86	5	*	*	UW_09	UO_01	inne
87	5	*	*	UW_09	UO_02	inne
88	5	*	*	UW_09	UO_03	inne
89	5	*	*	UW_09	UO_04	inne
90	5	*	*	UW_09	UO_05	inne
91	5	*	*	UW_10	UO_01	inne
92	5	*	*	UW_10	UO_02	inne
93	5	*	*	UW_10	UO_03	inne
94	5	*	*	UW_10	UO_04	inne
95	5	*	*	UW_10	UO_05	inne

Układ łożysk

IDnum	NumCases	UkładLozysk	Rozwiazania
1	5	inny	RUL_01
2	5	inny	RUL_02
3	5	inny	RUL_03
4	5	inny	RUL_04
5	5	O	RUL_05
6	5	O	RUL_06
7	5	X	RUL_07
8	5	X	RUL_08
9	5	inny	RUL_09
10	5	inny	RUL_10
11	5	inny	RUL_11
12	5	inny	RUL_12
13	5	inny	RUL_13

Załącznik C

C.1. Kwantowanie i kodowanie wartości atrybutów

Progi kwantowania		Wartość cechy	Typ łożyska
od	do	<i>Cena łożyska</i>	
0	75	niska	kulkowe zwykłe; igiełkowe; stożkowe; igiełkowe wzdłużne;
75	150	średnia	kulkowe skośne 1 rzędowe; kulkowe wahlowe; walcowe NU; walcowe NJ; walcowe N; kulkowe wzdłużne; walcowe wzdłużne;
150	...	wysoka	kulkowe skośne 2 rzędowe; kulkowe skośne 1 rzędowe QJ; walcowe NUP; baryłkowe 2 rzędowe; kulkowe skośne wzdłużne 1 rzędowe; baryłkowe wzdłużne;

Tab. 9.1. Ceny łożysk tocznych

Progi kwantowania		Wartość cechy	Model ustalenia
od	do	<i>Złożoność</i>	
0	4	mała	UW 01; UW 04; UW 06; UW 07; UW 10;
4	6,5	średnia	UW 02; UW 05; UW 08;
6,5	...	duża	UW 03; UW 09;

Tab. 9.2. Złożoność - sposób ustalenia łożyska na wale

Progi kwantowania		Wartość cechy	Rozwiązania
od	do	<i>Złożoność</i>	
0	5	mała	RUL 01; RUL 03; RUL 04; RUL 07; RUL 08;
5	8	średnia	RUL 02; RUL 05; RUL 06; RUL 09; RUL 10;
8	...	duża	RUL 11; RUL 12; RUL 13;

Tab. 9.3. Złożoność - rozwiązania łożyskowania