

# Rozdział 10

## **Przykład bazy wiedzy wspomagającej projektowanie układów diagnozujących i procedur diagnostycznych w zakresie diagnostyki wibroakustycznej**

Krzysztof PSIUK

### **10.1. Wprowadzenie**

Diagnozowanie środków technicznych jest zagadnieniem obejmującym szeroki zakres działań związanych z oceną ich stanu technicznego. Ze względu na znaczny stopień skomplikowania współczesnych maszyn i urządzeń, ocena ich stanu technicznego nie jest zadaniem prostym. We współczesnych maszynach coraz częściej pracę diagnosty wspomagają urządzenia i programy będące częścią układów diagnozujących. Układy diagnozujące ze względu na rozwój technik pomiarowych oraz metod przetwarzania i analizy sygnałów stają się narzędziami o złożonej budowie i zawierają wiele różnorodnych narzędzi ułatwiających pracę diagnosty. Powstaje jednak pytanie, z jakich elementów powinien składać się układ diagnozujący, aby mógł on być w odpowiedni sposób wykorzystany, a także mógł dostarczać jak najwięcej wartościowych informacji. Układy diagnostyczne najczęściej są dostosowywane do istniejących obiektów, w których nie można już przeprowadzać modyfikacji. Takie rozwiązanie często ogranicza możliwości takich układów, gdyż uniemożliwia umieszczenie czujników w miejscach interesujących diagnostę. Nie często zdarza się, aby były one uwzględniane już na etapie projektowania samej maszyny. W takim przypadku pojawia się problem zaprojektowania układu diagnostycznego, w sposób poprawny realizującego swoje funkcje i wspomagającego pracę diagnosty.

W Katedrze Podstaw Konstrukcji Maszyn Politechniki Śląskiej w Gliwicach przeprowadzono badania dotyczące opracowania bazy wiedzy umożliwiającej wspomaganie prac związanych z opracowywaniem układów diagnozujących dla nowo projektowanych maszyn oraz maszyn już istniejących. Ze względu na szeroki zakres zagadnień związanych z diagnozowaniem różnych maszyn, skupiono się nad opracowaniem bazy wiedzy dla maszyn wirnikowych ze szczególnym uwzględnieniem turbin parowych.

### **10.2. Projektowanie układów diagnozujących**

Diagnostyka Zadaniem diagnostyki maszyn jest ocena stanu technicznego maszyny lub urządzenia. Zadanie to może być realizowane w różny sposób, przy czym wyróżnia się tutaj dwie główne grupy metod nazywane:

- diagnostyką symptomową,

- diagnostyką wspartą modelami.

W przypadku diagnostyki symptomowej ocenę stanu technicznego prowadzi się w oparciu o relacje występujące pomiędzy stanem badanego obiektu (maszyny) a symptomami tego stanu. Symptomy stanu technicznego maszyny określane są poprzez przeprowadzenie różnych analiz sygnałów diagnostycznych pochodzących z badanego obiektu. W przypadku diagnostyki wspartej modelami, ocena stanu technicznego odbywa się nie tylko na podstawie pomiarów przeprowadzanych na obiekcie badań. W tym przypadku dodatkowo wykorzystuje się modele badanego obiektu lub modele diagnostyczne. Jednak w obydwu przypadkach do określenia stanu maszyny konieczne są sygnały diagnostyczne, które będą podstawą do rozpoznania symptomów. Spośród wielu różnych klas sygnałów, które mogą być wykorzystywane w diagnostyce technicznej na szczególną uwagę zasługują procesy resztkowe generowane podczas ruchu maszyny. Ich obserwacja pozwala w wielu przypadkach na zabranie informacji o zaawansowaniu procesów zużycia maszyny. Do metod tego typu możemy zaliczyć np.:

- badanie produktów zużycia,
- diagnostykę termiczną,
- diagnostykę wibroakustyczną.

Zagadnienia związane z diagnostyką termiczną zostały opisane w kolejnym rozdziale. W tym rozdziale uwaga zostanie skupiona na metodach związanych z diagnostyką wibroakustyczną. Diagnostyka wibroakustyczna oparta jest na obserwacji jednego z procesów resztkowych, które powstają w czasie działania maszyn i obejmuje [10.2]:

- analizę drgań związanych z działaniem maszyny,
- analizę hałasu generowanego przez działającą maszynę,
- analizę pulsacji medium roboczego,
- analizę emisji akustycznej generowanej przez naturalny rozwój mikrouszkodzeń.

Przyczyny tych drgań są bardzo różnorodne. Zależą od budowy maszyny, sposobu działania, pracy itp. W przypadku maszyn wirnikowych istnieje kilka charakterystycznych stanów, których symptomy objawiają się w postaci procesów resztkowych. Można tutaj wymienić na przykład [10.3]:

- niewyrównoważenie,
- nieosiowość,
- defekty łożysk lub czopów,
- defekty występujące podczas działania łożysk ślizgowych,
- stany przejściowe.

Stan niewyrównoważenia jest jednym z najczęściej występujących stanów w przypadku maszyn wirnikowych. Przyczyną wystąpienia takiego stanu może być ocieranie się wału o uszczelnienie, ocieranie wirnika, uszkodzenia łożysk czy też wystąpienie luzów. Nieosiowość należy również do grupy częstych stanów występujących w maszynach wirnikowych. Jej przyczyną może być błędne posadowienie podpór łożyskowych, błędy w montażu czy zużywanie się elementów maszyn. Może być również spowodowane występowaniem luzów w maszynie. W przypadku łożysk ślizgowych mogą występować takie zjawiska jak wir olejowy czy bicz olejowy, które są zjawiskami bardzo niebezpiecznymi dla działania maszyny wirnikowej. W przypadku maszyn wirnikowych często zdarza się, że w czasie rozruchu lub wyłączenia maszyny, musi ona przejść przez stany rezonansowe, co również może być przyczyną niepożądanych stanów maszyny.

Ocena stanu technicznego odbywa się na podstawie obserwacji sygnałów diagnostycznych oraz ich analizy. Wykonywanie pomiarów jest realizowane za pomocą przyrządów pomiarowych. Ponieważ możliwości takich urządzeń są coraz większe, a jednocześnie liczba sygnałów pomiarowych, na podstawie których można ocenić stan jest coraz większa, konieczne jest zastosowanie systemów pomiarowych które umożliwią wykonywanie tak dużej liczby pomiarów. Do tego celu stosowane są

układy monitorowania.

Celem stosowania układów monitorowania jest obserwacja obiektu i rejestracja sygnałów diagnostycznych, które są przydatne przy ocenie stanu technicznego monitorowanego obiektu. Sygnały te mogą być zapisywane w sposób ciągły lub okresowy. W praktyce mamy do czynienia z bardzo dużą liczbą danych co może stanowić pewien kłopot związany z ich przechowywaniem i analizowaniem. Dla dużych maszyn liczba obserwowanych sygnałów diagnostycznych może sięgać kilku tysięcy. Dane te pochodzą z czujników pomiarowych oraz z układu sterowania. Tak duża liczba danych wymaga opracowania specjalnych metod ich analizy, które będą zrozumiałe dla operatorów czy diagnostów. Ze względu na tak dużą liczbę danych oraz różnych wyników analiz, często stosuje się w tego typu układach rozdzielanie przeznaczenia wyników analiz. Jedne z nich są przeznaczone dla operatorów monitorowanego obiektu, a inne dla diagnostów, oceniających stan techniczny maszyny.

Układy monitorowania składają się zazwyczaj z kilku elementów:

- układów pomiarowych,
- układów analizy sygnałów,
- bazy danych,
- oprogramowania operatora.

Zadaniem układów pomiarowych jest bezpośrednio wykonywanie pomiarów na obiekcie, akwizycja tych danych i zapisanie ich w bazie danych. Układy analizy sygnałów służą do przeprowadzania analiz zgromadzonych w bazie danych sygnałów. Wyniki tych analiz również są zapisywane w bazie danych. Baza danych służy do przechowywania danych uzyskiwanych bezpośrednio z pomiarów, jak również z przeprowadzonych analiz. Zapisane są w niej również dane dotyczące samego obiektu i parametrów jego pracy. Wszystkie wyniki prezentowane są użytkownikom takich systemów za pomocą specjalistycznego oprogramowania. Umożliwia ono przeglądanie wyników aktualnych pomiarów i analiz, przeprowadzanie dodatkowych analiz, a także przeglądanie danych historycznych. Często oprogramowanie takie umożliwia również konfigurowanie całego systemu. Zadania realizowane przez systemy monitorowania mogą być realizowane również przez inne systemy. Można tutaj wyróżnić np. systemy SCADA czy DCS. Systemy SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) są stosowane głównie do sterowania układów o niezbyt skomplikowanej budowie. Nowoczesne systemy tego typu często są wyposażane w dodatkowe moduły umożliwiające realizację zadań wykonywanych przez układy monitorowania. Systemy DCS (Distributed Control System) są systemami nadzorującymi pracę dużych obiektów technicznych oraz umożliwiającymi sterowanie pracą takich obiektów. Również w tym wypadku, często mogą one pełnić rolę systemów monitorowania, gdyż mogą zapisywać dane uzyskiwane np. z procesów sterowania obiektem.

Z historycznego punktu widzenia, do pierwszych systemów monitorowania można zaliczyć elektroniczne przenośne rejestratory. Za pomocą tych urządzeń, diagnosta przeprowadza okresowo pomiary wg z góry określonego porządku. Oczywiście tego typu metody są stosowane również w dniu dzisiejszym. Zaletą tej metody jest jej niewielki koszt. Do wad możemy zaliczyć niewielką dokładność przeprowadzanych pomiarów, niską częstotliwość pomiarów oraz ich niewielką powtarzalność. W wyniku rozwoju sprzętu pomiarowego, pojawiły się kolejne układy monitorowania. Umożliwiły one wykonywanie pomiarów w sposób ciągły i były prekursorem współczesnych układów monitorowania. Główną zaletą tego typu systemów jest ciągła rejestracja danych, która pozwala na śledzenie historii pracy obiektu.

Proces wnioskowania w diagnostyce technicznej odbywa się na podstawie informacji uzyskanych w wyniku obserwacji diagnozowanego obiektu. Uzyskane informacje mogą dotyczyć wielkości fizycznych będących wynikiem pracy urządzenia, np. prędkość obrotowa wirnika, natężenie przepływu medium itp., jak również mogą być związane z procesami resztkowymi, wynikającymi z pracy urządzenia, np. poziom drgań wału w czasie jego wirowania. W obydwu przypadkach rozpatrywane są sygnały

diagnostyczne, rozumiane jako przebiegi wielkości fizycznej, będącej źródłem informacji o obserwowanym urządzeniu lub procesie w nim zachodzącym. Do opisu takich sygnałów stosuje się zarówno punktowe jak również funkcyjne cechy sygnałów.

### 10.2.1. Cechy sygnałów diagnostycznych

Najogólniej sygnały można podzielić na dwie grupy: sygnały zdeterminowane oraz sygnały losowe. Sygnały zdeterminowane mogą być opisane za pomocą zależności matematycznych. Przykładami sygnałów zdeterminowanych mogą być sygnały harmoniczne, sygnały poliharmoniczne oraz zdeterminowane sygnały nieustalone. Sygnały losowe są opisane za pomocą przypisanym im procesów stochastycznych. Ich klasyfikacja opiera się na pojęciu stacjonarności. Stacjonarność sygnału rozpatrywana jest w węższym sensie lub szerszym sensie. Sygnałem stacjonarnym w szerszym sensie, nazywanym również sygnałem słabo stacjonarnym, nazywamy sygnał którego wartość oczekiwana jest stała i równa wartości średniej. Jednocześnie konieczne jest spełnienie drugiego warunku, w którym funkcja autokorelacji nie zależy od czasu, a jedynie od przesunięcia czasowego. Stacjonarność w węższym sensie wymaga spełnienia tych samych warunków dla momentów wyższych rzędów. Sygnałem niestacjonarnym nazywamy takie sygnały, dla których cechy statystyczne zależne są od czasu. Sygnały niestacjonarne wymagają specjalnych metod, za pomocą których będzie można je analizować. Oprócz przedstawionego podziału, sygnały można podzielić również na sygnały okresowe i nieokresowe.

Do opisu statystycznych właściwości sygnałów można posłużyć się ich cechami. Cechy te można podzielić na cechy punktowe oraz cechy funkcyjne. Do cech punktowych można zaliczyć:

- wartość średnia,
- wartość średniokwadratowa,
- wariancja,
- wartość skuteczna,
- wartość szczytowa,
- wartość międzyszczytowa,
- współczynnik kształtu,
- współczynnik szczytu,
- współczynnik impulsowości.

Natomiast do cech funkcyjnych można zaliczyć:

- funkcja autokorelacji,
- funkcja korelacji wzajemnej,
- funkcja gęstości widmowej,
- wzajemna gęstość widmowa,
- funkcja koherencji,
- funkcje analizy z zastosowaniem przekształcenia falkowego,
- funkcje analizy z zastosowaniem przekształcenia Wignera-Ville'a.

Szczegółowe informacje dotyczące cech sygnałów diagnostycznych oraz sposobów ich wyznaczenia można znaleźć np. w [10.3], [10.4], [10.5].

Zanim możliwe będzie przeprowadzenie analizy sygnałów konieczne jest najpierw ich zmierzenie. Pomiar sygnałów odbywa się w chwili obecnej technikami cyfrowymi, co wiąże się między innymi z dostępnością odpowiednich urządzeń pomiarowych oraz niewysokim kosztem wykonywania samych pomiarów. W kolejnym punkcie opisane zostaną główne elementy budowy układów monitorowania.

### 10.2.2. Podsystemy układów diagnostycznych

W każdym układzie monitorowania można wyróżnić kilka podsystemów, których zastosowanie wynika z metod pracy takich układów. Cały zakres zadań realizowanych przez system monitorowania można podzielić na kilka etapów:

1. przeprowadzenie pomiarów,
2. zapisanie wyników przeprowadzonych pomiarów,
3. analiza zapisanych sygnałów,
4. przechowywanie danych historycznych,
5. prezentacja sygnałów oraz wyników analiz użytkownikom systemu.

Przeprowadzenie pierwszego etapu wiąże się z wykorzystaniem dwóch typów urządzeń: czujników pomiarowych, pozwalających na przeprowadzenie samego pomiaru oraz układów akwizycji danych umożliwiających kondycjonowanie zmierzonych sygnałów. Głównym zadaniem czujników jest zamiana interesującej nas wielkości fizycznej na mierzalny przez układy elektroniczne sygnał elektryczny. W wyniku takiego działania można dokonać pomiarów takich wielkości jak: ciśnienie, temperatura, przemieszczenie, naprężenia itp. W praktyce najczęściej możemy mieć do czynienia z następującymi typami czujników [10.1]:

- czujniki umożliwiające pomiar drgań,
- czujniki prędkości obrotowej,
- czujniki temperatury,
- czujniki ciśnienia,
- czujniki pozwalające na pomiar naprężeń,
- czujniki mocy,
- czujniki umożliwiające pomiar przemieszczeń.

Nie są to wszystkie spotykane typy czujników, a jedynie najczęściej wykorzystywane w diagnostyce maszyn. Do opisu czujników stosowanych jest wiele parametrów, z których należy zwrócić uwagę na [10.1]:

- wielkość mierzona,
- zakres pomiarowy,
- pasmo,
- czułość,
- dokładność,
- itp.

To jedynie kilka istotnych parametrów czujników stosowanych w diagnostyce maszyn. Wielkość mierzona, służy do określania wartości podawanej na wyjściu czujnika, do której mierzona wartość jest proporcjonalna. W przypadku pomiaru drgań jest to o tyle istotne, że w tym przypadku podawana przez czujnik wielkość może być proporcjonalna do przemieszczeń, prędkości lub przyspieszeń mierzonych drgań. Zakres pomiarowy określa przedział pomiarowy, w którym czujnik może podawać prawidłowe wartości wielkości mierzonej. Jeżeli mierzona wielkość będzie spoza tego przedziału to uzyskane wyniki pomiarów będą niewiarygodne lub błędne. Błędem jest również dobranie zbyt dużego przedziału w stosunku do wielkości zmian mierzonej wartości. Zamiennie z zakresem pomiarowym, podawany jest kolejny parametr, którym jest czułość. Parametr ten określa stosunek zmiany wielkości wyjściowej do zmiany wielkości mierzonej. Innymi słowy jest to nachylenie charakterystyki czujnika. Kolejnym istotnym parametrem jest pasmo przenoszenia czujnika. Parametr ten określa, jak szybko mogą następować zmiany w czasie mierzonej wielkości fizycznej. Chodzi o to, aby czujnik był w

stanie zarejestrować zmiany mierzonej wartości. Ostatnim z wymienionych parametrów jest dokładność. Jest to parametr opisujący maksymalny błąd pomiaru. Opisy innych parametrów czujników pomiarowych można znaleźć np. w [10.1, 10.4].

Kolejną grupą urządzeń dotyczących przeprowadzenia pomiarów są układy akwizycji danych. Głównym zadaniem układów akwizycji danych jest zamiana sygnałów analogowych, które pozyskiwane są z czujników, na sygnały cyfrowe, które można dalej zapisywać na różnych nośnikach lub w bazie danych. Często jednak zadania takich układów nie ograniczają się wyłącznie do takiej konwersji. W przypadku układów kondycjonowania o bardziej złożonej budowie, mogą one również wykonywać takie zadania jak [10.1]:

- próbkowanie sygnałów,
- kontrola poprawności toru pomiarowego,
- wstępne przetwarzanie sygnału,
- wizualizacja mierzonych wielkości,
- buforowanie danych,
- przesyłanie danych do innych układów,
- ustawianie wyjść alarmowych.

Układy tego typu można podzielić na trzy grupy:

- uniwersalne,
- specjalizowane,
- prototypowe.

Układy uniwersalne to układy zazwyczaj kupowane w postaci gotowych produktów, od producentów takiego typu urządzeń. Układ taki zazwyczaj składa się z:

- układu kondycjonowania,
- przetwornika analogowo-cyfrowego,
- mikroprocesora,
- pamięci,
- interfejsu komunikacyjnego.

Zaletą tego typu rozwiązań jest prosta konstrukcja, niska cena, prosty serwis, łatwa transmisja danych. Wadą takiego rozwiązania jest przede wszystkim niska częstotliwość akwizycji danych, chociaż wraz z rozwojem techniki mikroprocesorowej jest ona coraz większa.

Układy specjalizowane to układy produkowane głównie dla konkretnych rozwiązań, w przypadku gdy nie można zastosować układów uniwersalnych. Stosuje się je głównie tam gdzie wymagania co do uniwersalnych układów akwizycji są znacznie większe. Wadą tego typu rozwiązań jest przede wszystkim wyższa cena i niższa niezawodność. Czasami mogą pojawić się ograniczenia dotyczące sposobów transmisji danych. Do zalet należy zaliczyć lepsze parametry pracy takich układów.

Ostatnią grupą tego typu układów są układy prototypowe.

### 10.3. Przykład opracowanej bazy wiedzy

Opracowany przykład bazy wiedzy dotyczący doboru elementów układu monitorującego został opracowany przy pewnych założeniach. Przyjęto, że rozpatrywany będzie układ monitorowania przeznaczony dla maszyn wirnikowych o dużych rozmiarach. Dotyczy to np. takich maszyn jak turbiny, wentylatory czy pompy. Założono również, że układ ten ma służyć do diagnozowania stanu danej maszyny. W ramach przygotowywania bazy wiedzy dla potrzeb opracowania systemu doradczego wspomagającego dobór elementów układu diagnozującego przygotowano zostały odpowiednie zasoby. Cała baza wiedzy została zapisana w postaci sieci stwierdzeń. Sama sieć stwierdzeń została przygotowana w systemie DiaDyn. Przygotowanie bazy wiedzy w systemie DiaDyn, wiąże się z przygotowaniem odpowiednich zasobów obejmujących opracowanie między innymi:

- zbioru stwierdzeń,
- zbioru haseł pomocniczych,
- słowników i tematów,
- sieci stwierdzeń.

Opracowane zasoby zostały przygotowane w systemie DiaDyn, a szczegóły opisano w rozdziałach poniżej.

### 10.3.1. Opracowany słownik stwierdzeń

Przy opracowaniu słownika stwierdzeń wyszczególniono pewne elementy układów diagnozujących, które powinny występować w każdym z nich. Część tych elementów należy do grupy elementów podstawowych, które powinny znaleźć się w każdym układzie diagnozującym, a część stanowi rozszerzenie standardowego wyposażenia takich układów. Przygotowaniem do zaprojektowania bazy wiedzy było również określenie oczekiwań, jakie mogą być stawiane tego typu układom. Przyjęto, że do tej grupy stwierdzeń będą należały stwierdzenia określające jakie zadania powinien taki układ realizować. Przyjęto tutaj, że takim kryterium będzie przeznaczenie układu diagnozowania:

- *Konieczna jest optymalizacja systemu diagnostycznego,*
- *Konieczne jest prowadzenie detekcji uszkodzeń,*
- *Konieczne jest rozpoznawanie lokalizacji uszkodzeń,*
- *Konieczne jest rozpoznawanie predykcji uszkodzeń,*
- *Powinny być pobierane z obiektu dane dynamiczne,*
- *Obiekt powinien być monitorowany w sposób ciągły,*
- *Konieczne jest zbieranie informacji z układu sterowania.*

Wymienione powyżej stwierdzenia określają własności układu diagnozowania. Dotyczą one zadań, które powinien on umożliwiać, jak np. prowadzenie zadań związanych z optymalizacją osiągnięcia celu działania diagnozowanego układu, określenie zdarzeń związanych z wystąpieniem uszkodzenia, zbiór metod pozwalających na przewidywanie zmian stanu, czy zbiór metod umożliwiających podanie miejsca wystąpienia uszkodzenia. Ponadto uwzględniają one sposób działania układu dotyczący faktu łączenia układu diagnozowania z układem sterowania. Umożliwia to uwzględnianie w strukturze obserwowanych sygnałów diagnostycznych danych dynamicznych, czy obserwację diagnozowanego obiektu w sposób ciągły.

Pozostałe stwierdzenia podzielono na kilka grup. Do pierwszej z nich można zaliczyć stwierdzenia dotyczące wykorzystania dla celów diagnostyki istniejących systemów, takich jak systemy DCS czy SCADA:

- *Należy zastosować systemy typu DCS,*
- *Należy zastosować system typu SCADA.*

Drugą grupę stanowią stwierdzenia określające konieczność zastosowania systemów doradczych, wspomagających działanie układu diagnozujących oraz sensowność korzystania z usług zewnętrznego centrum diagnostycznego:

- *Proces wnioskowania powinien być wspomagany,*
- *Istnieje możliwość wykorzystania Centrum Diagnostycznego.*

Kolejną grupę stwierdzeń obejmują stwierdzenia dotyczące zasadności wykorzystania w układach monitorowania pewnych elementów specyficznych, jak układy akwizycji danych, serwerów systemu, typu stacji operatorskiej przeznaczonej dla diagnostyki jak również sposobów ich połączenia:

- *Należy zastosować prototypową jednostkę akwizycji danych,*

**Utworzone stwierdzenia:**

- Wymagane jest zastosowanie bazy danych systemu
- Wymagane jest zastosowanie obiektowej bazy danych systemu
- Wymagane jest zastosowanie relacyjnej bazy danych systemu
- Istnieje możliwość wykorzystania Centrum Diagnostycznego
- Należy zastosować czujniki umożliwiające pomiar ciśnienia pary
- Należy zastosować czujnik pomiaru mocy maszyny
- Wymagane jest zastosowanie czujników mierzących naprężenia korpusu maszyny
- Należy zastosować czujnik mierzący prędkość obrotową maszyny
- Należy zastosować czujnik mierzący przemieszczenia względne wału w podporze łożyska
- Należy zastosować czujniki umożliwiające pomiar przemieszczeń korpusu maszyny
- Wymagane jest zastosowanie czujników przyspieszeń drgań
- Należy zastosować czujnik mierzący temperaturę oleju w łożyskach ślizgowych
- Należy zastosować czujniki mierzące temperaturę pary
- Powinny być pobierane z obiektu dane dynamiczne
- Konieczne jest prowadzenie detekcji uszkodzeń
- W interfejsie użytkownika powinna być dostępna opcja wyświetlania alarmów
- W interfejsie użytkownika powinna być dostępna opcja przeglądania danych
- W interfejsie użytkownika powinna być dostępna opcja rysowania orbity
- W interfejsie użytkownika powinna być dostępna opcja Trendy
- Dla diagnosty wystarczające są podstawowe elementy interfejsu użytkownika
- Diagnosta wymaga rozszerzonej wersji interfejsu użytkownika
- W interfejsie użytkownika powinna być dostępna opcja rysowania wykresu Bode
- W interfejsie użytkownika powinna być dostępna opcja rysowania wykresów czasowych

Rys. 10.1: Fragment opracowanego słownika stwierdzeń

- *Należy zastosować uniwersalną jednostkę akwizycji danych,*
- *Należy zastosować specjalizowaną jednostkę akwizycji danych,*
- *Wymagane jest zastosowanie serwera systemu,*
- *Wymagane jest zastosowanie stacji operatora systemu,*
- *Należy zastosować przenośną stację operatora systemu,*
- *Komputery można połączyć w sieci bezprzewodowej,*
- *Komputery należy połączyć siecią przewodową.*

Następna grupa stwierdzeń dotyczy typów wykorzystywanych czujników oraz sposobów ich zastosowania. W tej grupie uwzględniono czujniki, które mogą być przeznaczone do pomiaru różnych wielkości fizycznych, przydatnych do określenia stanu technicznego obiektu. Wyszczególniono również typ czujników oraz sposób i miejsce ich montażu. Przewidziano tutaj czujniki umożliwiające przeprowadzenie pomiarów efektów ubocznych pracy maszyn (np. czujniki drgań). Ale również uwzględniono czujniki umożliwiające wykonywanie pomiaru parametrów pracy urządzeń (np. pomiar temperatury, ciśnienia roboczego itp.). Szczegółowe treści stwierdzeń przedstawiono poniżej:

- *Należy zastosować podstawowy zestaw czujników,*
- *Należy zastosować pełny zestaw czujników,*
- *Należy zastosować zestaw czujników do obserwacji układu sterowania,*
- *Wymagane jest zastosowanie sterowników logicznych PLC,*
- *Należy zastosować czujnik mierzący temperaturę oleju w łożyskach ślizgowych,*
- *Należy zastosować czujnik pomiaru mocy maszyny,*
- *Należy zastosować czujnik mierzący prędkość obrotową maszyny,*
- *Wymagane jest zastosowanie czujników przyspieszeń drgań,*
- *Należy zastosować czujnik mierzący temperaturę oleju w łożyskach ślizgowych,*
- *Należy zastosować czujnik mierzący przemieszczenia względne wału w podporze łożyska,*
- *Wymagane jest zastosowanie czujników mierzących naprężenia korpusu maszyny,*
- *Należy zastosować czujniki umożliwiające pomiar ciśnienia pary,*



- *Należy zastosować czujniki umożliwiające pomiar przemieszczeń korpusu maszyny,*
- *Należy zastosować czujniki mierzące temperaturę pary.*

Przedostatnią grupę stwierdzeń obejmują stwierdzenia dotyczące obsługi projektowanego systemu i przygotowanego dla tego celu oprogramowania. Uwzględnia ona zakres zadań tego oprogramowania, ale również szczegóły dotyczące możliwości prowadzonych przez diagnostę analiz. Przewidziano tutaj pewien minimalny zakres możliwości takiego oprogramowania. Udostępniono również użytkownikowi możliwość uwzględnienia bardziej szczegółowych wymagań:

- *Dla diagnosty wystarczające są podstawowe elementy interfejsu użytkownika*
- *Diagnosta wymaga rozszerzonej wersji interfejsu użytkownika*
- *W interfejsie użytkownika powinna być dostępna opcja rysowania wykresów czasowych*
- *W interfejsie użytkownika powinna być dostępna opcja rysowania przebiegów czasowych*
- *W interfejsie użytkownika powinna być dostępna opcja rysowania wykresów czasowych XY*
- *W interfejsie użytkownika powinna być dostępna opcja rysowania wykresów w dziedzinie częstotliwości*
- *W interfejsie użytkownika powinna być dostępna opcja rysowania wykresów kaskadowych w dziedzinie częstotliwości*
- *W interfejsie użytkownika powinna być dostępna opcja rysowania wykresów widma mocy sygnału*
- *W interfejsie użytkownika powinna być dostępna opcja Trendy*
- *W interfejsie użytkownika powinna być dostępna opcja rysowania orbity*
- *W interfejsie użytkownika powinna być dostępna opcja wyświetlania alarmów*
- *W interfejsie użytkownika powinna być dostępna opcja przeglądania danych*
- *W interfejsie użytkownika powinna być dostępna opcja rysowania wykresu Bode*

Ostatnią grupę stwierdzeń obejmują stwierdzenie dotyczące możliwości zapisywania danych uzyskiwanych w wyniku przeprowadzanych pomiarów. Przewidziano w tym przypadku możliwość ich zapisu w bazie danych, przy czym możliwe są do wyboru dwa typy baz danych: relacyjna i obiektowa. W zależności od potrzeb użytkowników będzie można zastosować jedną z nich.

- *Wymagane jest zastosowanie bazy danych systemu*
- *Wymagane jest zastosowanie obiektowej bazy danych systemu*
- *Wymagane jest zastosowanie relacyjnej bazy danych systemu*

Wszystkie tak przygotowane stwierdzenia zostały dodane do jednego słownika, który nazwano: *Wspomaganie projektowania układów diagnozujących.*

### 10.3.2. Opracowane hasła i tematy

Do opracowanego zestawu stwierdzeń opracowano również przykładowy zestaw haseł, obejmujących słownictwo i zwroty wykorzystywane do utworzenia wymienionych w poprzednim rozdziale stwierdzeń. ponieważ ich liczba jest dosyć duża ograniczono się w tym opracowaniu do przedstawienia wybranych haseł oraz tematów, które zostały opracowane. Obejmują one takie zagadnienia jak typy czujników, zagadnienia dotyczące akwizycji sygnałów, baz danych czy systemów doradczych. opisy tych haseł zostały opracowane na podstawie dostępnej literatury. Przykładowy zestaw haseł przedstawiono na Rys. 10.2, a przykładowe tematy przedstawiono na Rys. 10.3.

**Utworzone hasła:**

- [Baza danych](#)
- [Baza danych systemu doradczego](#)
- [Baza wiedzy systemu doradczego](#)
- [Centrum diagnostyczne](#)
- [Czujnik](#)
- [Detekcja uszkodzeń](#)
- [Interfejs użytkownika](#)
- [Jednostki akwizycji danych](#)
- [Lokalizacja uszkodzeń](#)
- [Operator systemu](#)
- [Predykcja uszkodzeń](#)
- [Przebiegi czasowe](#)
- [System doradczy](#)
- [Systemy DCS](#)
- [Systemy SCADA](#)
- [Układ objaśniający](#)
- [Układ wnioskowania](#)
- [Widmo mocy sygnału](#)
- [Wykres Bode](#)
- [Wykres kaskadowy](#)

Rys. 10.2: Przykład zestawu haseł

**Opracowane tematy:**

- [Akwizycja danych](#)
- [Bazy danych](#)
- [Systemy doradcze](#)

Rys. 10.3: Przykład zestawu tematów

### 10.3.3. Opracowana sieć stwierdzeń

Na podstawie przygotowanego zestawu stwierdzeń została przygotowana sieć stwierdzeń. Budowę sieci stwierdzeń poprzedzono przeniesieniem zasobów z modułu Dia\_Wiki do modułu Dia\_Sta. Czynność ta wykonywana jest przez administratora systemu DiaDyn. Po przeniesieniu przygotowanego słownika stwierdzeń do modułu Dia\_Sta, pojawił się on na liście dostępnych w systemie DiaDyn słowników stwierdzeń (Rys. 10.4). To umożliwiło wykonanie kolejnych kroków związanych z budową sieci stwierdzeń.

W kolejnym kroku połączono, zgodnie z opracowanymi w systemie DiaDyn instrukcjami, poszczególne stwierdzenia w jedną sieć stwierdzeń. Dla każdego stwierdzenia określono jego stwierdzenia nadrzędne, a także dla każdego z nich wypełniono tablicę prawdopodobieństw warunkowych. Wartości tych prawdopodobieństw dobrano a priori na podstawie dostępnej w literaturze wiedzy oraz własnego doświadczenia. W wyniku tych działań powstała sieć przedstawiona na Rys. 10.5

Przy opracowaniu tej sieci przyjęto, że pewne stwierdzenia będą pełniły rolę stwierdzeń wejściowych sieci, niektóre będą pełniły rolę stwierdzeń pomocniczych, a pozostałe będą stwierdzeniami wyjściowymi opracowanej sieci stwierdzeń. Oczywiście przy definiowaniu wartości stwierdzeń nie ma obowiązku zachowanie tej przyjętej zasady, ale umożliwi ona, wybranie tych stwierdzeń, którym należy nadać wartości początkowe i obserwację tych stwierdzeń, które są istotne z punktu widzenia działania tej sieci. Do stwierdzeń, które pełnią rolę stwierdzeń wejściowych zaliczono następujące



stwierdzenia:

- *Istnieje możliwość wykorzystania Centrum Diagnostycznego,*
- *Obiekt powinien być monitorowany w sposób ciągły,*
- *Powinny być pobierane z obiektu dane dynamiczne,*
- *Proces wnioskowania powinien być wspomagany,*
- *Konieczne jest prowadzenie detekcji uszkodzeń,*
- *Konieczne jest rozpoznawanie lokalizacji uszkodzeń,*
- *Konieczna jest optymalizacja systemu diagnostycznego,*
- *Konieczne jest rozpoznawanie predykcji uszkodzeń.*

Natomiast do węzłów wynikowych zaliczono:

- *Wymagane jest zastosowanie bazy danych systemu,*
- *Należy zastosować czujniki umożliwiające pomiar ciśnienia pary,*
- *Należy zastosować czujnik pomiaru mocy maszyny,*
- *Wymagane jest zastosowanie czujników mierzących naprężenia korpusu maszyny,*
- *Należy zastosować czujnik mierzący prędkość obrotową maszyny,*
- *Należy zastosować czujnik mierzący przemieszczenia względne wału w podporze łożyska,*
- *Należy zastosować czujniki umożliwiające pomiar przemieszczeń korpusu maszyny,*
- *Wymagane jest zastosowanie czujników przyspieszeń drgań,*
- *Należy zastosować czujnik mierzący temperaturę oleju w łożyskach ślizgowych,*
- *Należy zastosować czujniki mierzące temperaturę pary,*
- *W interfejsie użytkownika powinna być dostępna opcja wyświetlania alarmów,*
- *W interfejsie użytkownika powinna być dostępna opcja przeglądania danych,*
- *W interfejsie użytkownika powinna być dostępna opcja rysowania orbity,*
- *W interfejsie użytkownika powinna być dostępna opcja Trendy,*
- *W interfejsie użytkownika powinna być dostępna opcja rysowania wykresu Bode,*
- *W interfejsie użytkownika powinna być dostępna opcja rysowania wykresów czasowych,*
- *W interfejsie użytkownika powinna być dostępna opcja rysowania przebiegów czasowych,*
- *W interfejsie użytkownika powinna być dostępna opcja rysowania wykresów czasowych XY,*
- *W interfejsie użytkownika powinna być dostępna opcja rysowania wykresów w dziedzinie częstotliwości,*
- *W interfejsie użytkownika powinna być dostępna opcja rysowania wykresów kaskadowych w dziedzinie częstotliwości,*
- *W interfejsie użytkownika powinna być dostępna opcja rysowania wykresów widma mocy sygnału,*
- *Należy zastosować prototypową jednostkę akwizycji danych,*
- *Należy zastosować uniwersalną jednostkę akwizycji danych,*
- *Należy zastosować specjalizowaną jednostkę akwizycji danych,*
- *Wymagane jest zastosowanie serwera systemu,*
- *Wymagane jest zastosowanie stacji operatora systemu,*
- *Należy zastosować przenośną stację operatora systemu,*
- *Wymagane jest zastosowanie sterowników logicznych PLC,*

**Dia\_Sta**

Wyniki dla zadania **Układ monitorowania maszyn wirnikowych**

- [-] Wymagane jest zastosowanie bazy danych systemu: 0.8315
  - [-] Wymagane jest zastosowanie obiektowej bazy danych systemu: 0.10000001
  - [-] Wymagane jest zastosowanie relacyjnej bazy danych systemu: 0.7652
- [-] Dla diagnostyki wystarczające są podstawowe elementy interfejsu użytkownika: 0.963375
  - [-] W interfejsie użytkownika powinna być dostępna opcja wyświetlania alarmów: 0.9541075
  - [-] W interfejsie użytkownika powinna być dostępna opcja przeglądania danych: 0.9170375
  - [-] W interfejsie użytkownika powinna być dostępna opcja rysowania wykresów czasowych: 0.8707
    - [-] W interfejsie użytkownika powinna być dostępna opcja rysowania przebiegów czasowych: 0.83363
    - [-] W interfejsie użytkownika powinna być dostępna opcja rysowania wykresów czasowych XY: 0.83363
  - [-] W interfejsie użytkownika powinna być dostępna opcja rysowania wykresów w dziedzinie częstotliwości: 0.8707
    - [-] W interfejsie użytkownika powinna być dostępna opcja rysowania wykresów kaskadowych w dziedzinie częstotliwości: 0.83363
    - [-] W interfejsie użytkownika powinna być dostępna opcja rysowania wykresów widma mocy sygnału: 0.83363
- [-] Diagnosta wymaga rozszerzonej wersji interfejsu użytkownika: 0.91125
  - [-] W interfejsie użytkownika powinna być dostępna opcja rysowania orbity: 0.870125
  - [-] W interfejsie użytkownika powinna być dostępna opcja Trendy: 0.829
  - [-] Dla diagnostyki wystarczające są podstawowe elementy interfejsu użytkownika: 0.963375
    - [-] W interfejsie użytkownika powinna być dostępna opcja rysowania wykresu Bode: 0.8245625
  - [-] Należy zastosować prototypową jednostkę akwizycji danych: 0.92562497
  - [-] Wymagane jest zastosowanie serwera systemu: 0.90945876
  - [-] Komputery można połączyć w sieci bezprzewodowej: 0.66548496
  - [-] Komputery należy połączyć siecią przewodową: 0.94324815
  - [-] Należy zastosować specjalizowaną jednostkę akwizycji danych: 0.5
  - [-] Wymagane jest zastosowanie stacji operatora systemu: 0.9380767
  - [-] Należy zastosować przenośną stację operatora systemu: 0.73649997
  - [-] Należy zastosować system typu SCADA: 0.5
  - [-] Należy zastosować systemy typu DCS: 0.5
  - [-] Należy zastosować uniwersalną jednostkę akwizycji danych: 0.844375
  - [-] Proces wnioskowania powinien być wspomagany: 0.49999997
- [-] Należy zastosować pełny zestaw czujników: 0.9411875
  - [-] Należy zastosować czujniki umożliwiające pomiar ciśnienia pary: 0.89706874
  - [-] Wymagane jest zastosowanie czujników mierzących napięcia korpusu maszyny: 0.89706874
  - [-] Należy zastosować czujniki umożliwiające pomiar przemieszczeń korpusu maszyny: 0.89706874
  - [-] Należy zastosować podstawowy zestaw czujników: 0.93617904
  - [-] Należy zastosować zestaw czujników do obserwacji układu sterowania: 0.87325
- [-] Należy zastosować podstawowy zestaw czujników: 0.93617904
- [-] Należy zastosować zestaw czujników do obserwacji układu sterowania: 0.87325

Rozwiń wszystkie Zwiń wszystkie

Pobierz jako XML Zachowaj jako listę wartości stwierdzeń Pokaż sieć stwierdzeń jako SVG

Rys. 10.6: Przykład wyników procesu wnioskowania

- *Należy zastosować system typu SCADA,*
- *Należy zastosować systemy typu DCS.*

Pozostałe stwierdzenia są stwierdzeniami pomocniczymi. Bazując na tym założeniu, do opracowanej wcześniej sieci zbudowano drzewo stwierdzeń. Elementami przygotowanego drzewa stwierdzeń, stały się te stwierdzenia, które pełnią rolę stwierdzeń wyjściowych z przygotowanej sieci stwierdzeń.

#### 10.3.4. Przykład procesu wnioskowania

Po przygotowaniu sieci stwierdzeń oraz drzewa stwierdzeń, zdefiniowano zadanie, które umożliwiło przeprowadzenie procesu wnioskowania. Pierwszym etapem testowania opracowanej sieci stwierdzeń, było jej uruchomienie bez dodatkowych warunków początkowych. Wyniki tego działania przedstawiono na Rys. 10.6. Na tym rysunku przedstawione są wyniki procesu wnioskowania w postaci drzewa stwierdzeń. Jak widać, nie ma tam wszystkich stwierdzeń, które znajdowały się w wybranym słowniku. Zgodnie z przyjętym podziałem, znajdują się tam tylko te stwierdzenia, które są interesujące z punktu widzenia działania sieci.

Pierwsze uruchomienie zadania odbyło się dla nieznanymi wartości stopni przekonania stwierdzeń

## Dia\_Sta

Wyniki dla zadania **Układ monitorowania maszyn wirnikowych**

- [-] Wymagane jest zastosowanie bazy danych systemu: 0.8486111
  - [-] Wymagane jest zastosowanie obiektowej bazy danych systemu: 0.1
  - [-] Wymagane jest zastosowanie relacyjnej bazy danych systemu: 0.7788889
- [-] Dla diagnostyki wystarczające są podstawowe elementy interfejsu użytkownika: 0.98006
  - [-] W interfejsie użytkownika powinna być dostępna opcja wyświetlania alarmów: 0.9704588
  - [-] W interfejsie użytkownika powinna być dostępna opcja przeglądania danych: 0.932054
  - [+] W interfejsie użytkownika powinna być dostępna opcja rysowania wykresów czasowych: 0.884048
    - [+] W interfejsie użytkownika powinna być dostępna opcja rysowania wykresów w dziedzinie częstotliwości: 0.884048
- [-] Diagnostyka wymaga rozszerzonej wersji interfejsu użytkownika: 0.91125
  - [-] W interfejsie użytkownika powinna być dostępna opcja rysowania orbity: 0.870125
  - [-] W interfejsie użytkownika powinna być dostępna opcja Trendy: 0.829
  - [+] Dla diagnostyki wystarczające są podstawowe elementy interfejsu użytkownika: 0.98006
    - [-] W interfejsie użytkownika powinna być dostępna opcja rysowania wykresu Bode: 0.8245625
  - [-] Należy zastosować prototypową jednostkę akwizycji danych: 0.9270833
  - [-] Wymagane jest zastosowanie serwera systemu: 0.91996944
  - [-] Komputery można połączyć w sieci bezprzewodowej: 0.7032111
  - [-] Komputery należy połączyć siecią przewodową: 0.94583964
  - [-] Należy zastosować specjalizowaną jednostkę akwizycji danych: 0.5
  - [-] Wymagane jest zastosowanie stacji operatora systemu: 0.9476153
  - [-] Należy zastosować przenośną stację operatora systemu: 0.7788889
  - [-] Należy zastosować system typu SCADA: 0.82
  - [-] Należy zastosować systemy typu DCS: 0.5
  - [-] Należy zastosować uniwersalną jednostkę akwizycji danych: 0.913875
  - [-] Proces wnioskowania powinien być wspomagany: 0.5
  - [+] Należy zastosować pełny zestaw czujników: 0.9434722
  - [+] Należy zastosować podstawowy zestaw czujników: 0.9473432
  - [+] Należy zastosować zestaw czujników do obserwacji układu sterowania: 0.88472223

Rozwiń wszystkie    Zwiń wszystkie

Pobierz jako XML    Zachowaj jako listę wartości stwierdzeń    Pokaż sieć stwierdzeń jako SVG

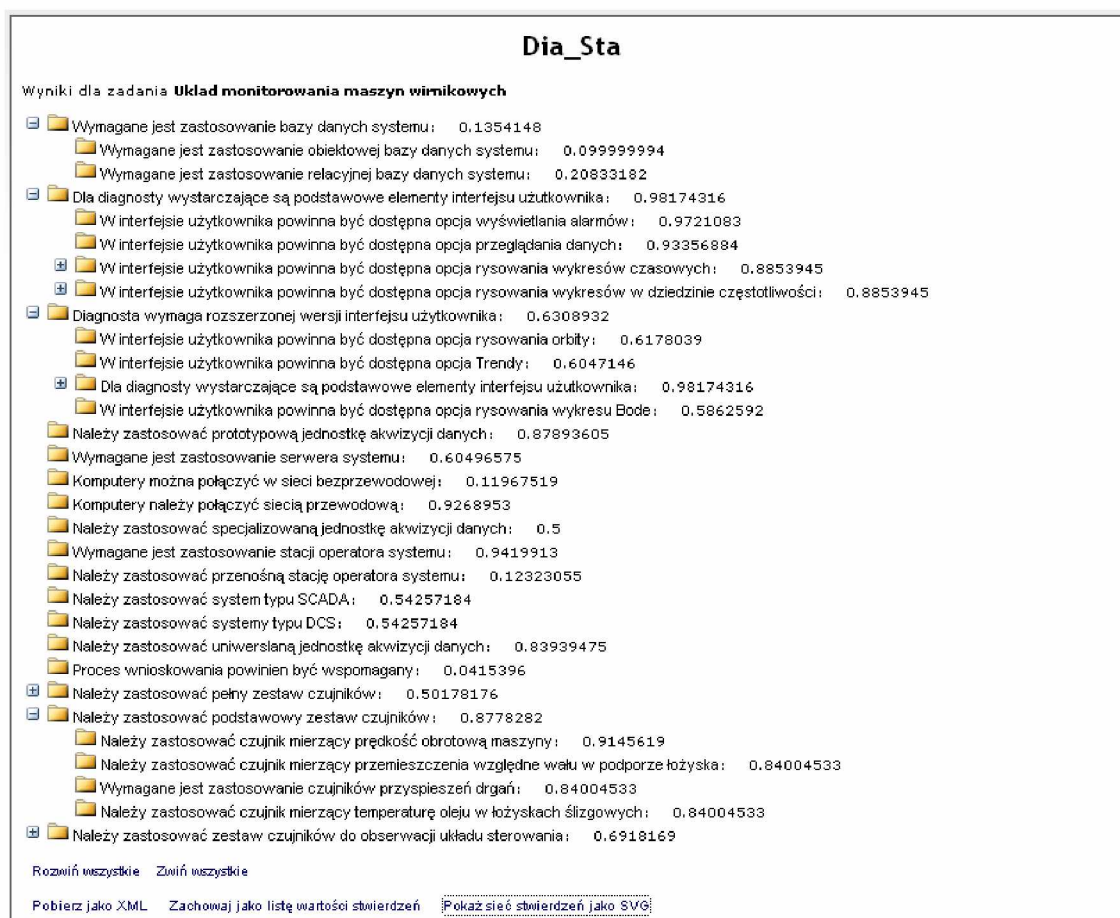
Rys. 10.7: Wyniki procesu wnioskowania dla zmienionych wartości stopni przekonania dla stwierdzeń wejściowych. Przykład 1

wejściowych. W takim przypadku, wartości stwierdzeń ustalane są jako nieznanne i sieć ustala swoją równowagę. Z otrzymanych wyników, przeprowadzonego procesu wnioskowania można wyciągnąć następujące wnioski:

- sieć została poprawnie skonstruowana i nie pojawiły się błędy przy jej uruchomieniu,
- otrzymane wartości poszczególnych węzłów sieci, sugerują, że wynikowy system diagnostyczny powinien być bardzo rozbudowany i zawierać nie tylko elementy podstawowe, ale również elementy dodatkowe.

Kolejne uruchomienie zadania odbyło się dla zmienionych wartości początkowych wybranych stwierdzeń. Przyjęto, że zostaną nadane stopnie przekonania o prawdziwości danego stwierdzenia następującym stwierdzeniom:

- *Istnieje możliwość wykorzystania Centrum Diagnostycznego* - 0,6,
- *Obiekt powinien być monitorowany w sposób ciągły* - 0,9,
- *Proces wnioskowania powinien być wspomagany* - 0,5.



Rys. 10.8: Wyniki procesu wnioskowania dla zmienionych wartości stopni przekonania dla stwierdzeń wejściowych. Przykład 2

Wyniki kolejnego uruchomienia zadania wnioskowania na tej sieci przedstawiono na Rys. 10.7. Warto zwrócić tutaj uwagę na fakt zmiany wartości stwierdzeń wyjściowych. W porównaniu do otrzymanych wcześniej wyników nastąpił wzrost przekonania o prawdziwości wybranych stwierdzeń. Na podstawie takich założeń, można powiedzieć, że system diagnostyczny powinien zawierać elementy stałe i zmienne. Proponowany jest pełny zestaw czujników wraz z prototypową jednostką akwizycji danych. Ze względu na wymagania dotyczące ciągłego sposobu monitorowania danych, konieczne jest zastosowanie serwera systemu oraz bazy danych. System powinien zawierać stację operatorską stacjonarną, a wszystkie urządzenia powinny być połączone siecią komputerową. W przypadku interfejsu użytkownika proponowane jest zastosowanie wersji podstawowej oraz rozszerzonej.

Kolejny przykład obejmował nadanie następujących parametrów wejściowych:

- *Istnieje możliwość wykorzystania Centrum Diagnostycznego* - 0,1,
- *Proces wnioskowania powinien być wspomagany* - 0,1,
- *Konieczne jest prowadzenie detekcji uszkodzeń* - 0,1,
- *Wymagane jest zastosowanie bazy danych systemu* - 0,1,

- Dla diagnostyki wystarczające są podstawowe elementy interfejsu użytkownika - 0,9.

Nadanie takich wartości początkowych jest równoznaczne, z przyjęciem, że nie ma potrzeby wykorzystywania zewnętrznego centrum diagnostycznego, proces wnioskowania nie ma być w żaden sposób wspomagany przez systemy doradcze. Narzucono również, że nie będzie wykorzystywana baza danych oraz, że do określenia stanu wystarczający będzie podstawowy zestaw narzędzi występujących w interfejsie użytkownika. Po wprowadzeniu takich wartości ponownie uruchomiono zadanie. Otrzymane wyniki przedstawiono na Rys. 10.8. Analizując otrzymane wyniki można wyciągnąć następujące wnioski:

1. Do układu monitorowania wystarczy zainstalowanie podstawowego zestawu czujników pomiarowych.
2. Wymagane jest zastosowanie stacjonarnej stacji dla diagnostyki.
3. Nie jest wymagane zastosowanie serwera systemu.

Przedstawione przykłady pokazują poprawność skonstruowanej sieci stwierżeń.

## 10.4. Podsumowanie

W pierwszej części tego rozdziału opisano ogólne zagadnienia dotyczące budowy układów monitorowania. Przedstawione tam informacje stanowią podstawę do analiz związanych z budową bazy wiedzy wspomagającej projektowanie układów diagnozujących. Opracowanie samej bazy wiedzy wspomagającej projektowanie układów diagnozujących nie było zadaniem prostym. Wymagało poznania budowy tego typu systemów oraz elementów które są w nich wykorzystywane. Ważnym okazało zapoznanie z warunkami, w których poszczególne elementy systemu powinny być używane. Stanowiło to podstawę do określania wartości wypełniających tablice prawdopodobieństw warunkowych poszczególnych węzłów sieci. Działania opracowanej sieci przetestowano na kilku przykładach, które pokazały poprawność wyników jej działania.

## Bibliografia

- [10.1] Barszcz T. *Systemy monitorowania i diagnostyki maszyn*. Wydawnictwo Instytutu Technologii Eksploatacji - PIB, Radom, 2006.
- [10.2] Cempel Cz. *Diagnostyka wibroakustyczna maszyn*. PWN, Warszawa, 1989.
- [10.3] Cempel Cz., F. Tomaszewski. *Diagnostyka maszyn. Zasady ogólne. Przykłady zastosowań*. Międzyresortowe Centrum Naukowe Eksploatacji Majątku Trwałego, Radom, 1992.
- [10.4] Cholewa W., Moczulski W. *Diagnostyka techniczna. Pomiary i analiza sygnałów*. Politechnika Śląska, Gliwice, 2001.
- [10.5] Korbicz J., Kościelny J.M., Kowalczyk Z., Cholewa W. *Diagnostyka procesów. Modele. Metody sztucznej inteligencji. Zastosowania*. WNT, Warszawa, 2002.