Rozdział 9

Prosty przykład sieci stwierdzeń

Marek FIDALI, Krzysztof PSIUK

9.1. Wstęp

Kończący się resurs wielu z bloków energetycznych i jednoczesna konieczność zapewnienia bezpieczeństwa energetycznego kraju spowodują, że konieczna będzie budowa nowych bloków energetycznych. Inwestycje takie już są na etapie planowania, a w niektórych elektrowniach już je rozpoczęto. Konieczność budowy nowych bloków energetycznych daje możliwości wyposażenia je w nowoczesne systemy diagnozujące. Decyzja o zastosowaniu systemu diagnozującego i określenie jego struktury musi zostać podjęta już na etapie planowania i projektowania bloku energetycznego.

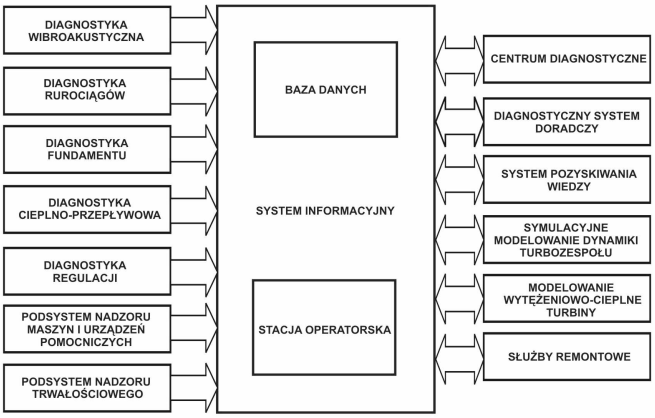
Współczesne systemy diagnozujące to złożone współdziałające ze sobą struktury różnego rodzaju sprzętu i oprogramowania [9.6]. Ze względu na strukturę i złożoność procesu realizowanego w bloku energetycznym [9.4] na proces diagnozowania bloku składają się równolegle realizowane zadania monitorowania i diagnozowania:

- maszyn i urządzeń podstawowych (krytycznych),
- maszyn i urządzeń pomocniczych,
- procesów,
- układów sterowania,
- układów wykonawczych,
- innych.

Zadania te realizowane są przez rozmaite podsystemy, które współdziałając ze sobą tworzą system diagnostyczny bloku. Przykładową strukturę systemu diagnostycznego bloku i wzajemne powiązania między jego elementami przedstawiono na (rys. 9.1)

Projektowanie i realizacja systemów diagnozujących nowych bloków energetycznych jest zagadnieniem bardzo złożonym i trudnym. W zależności od zespołu realizującego oraz dostarczanych rozwiązań sprzętowych filozofia działania i struktura systemu mogą się różnić.

Nie istnieją sformalizowane metody mówiące jak takie systemy projektować. Opracowanie i wdrożenie takiego systemu wymaga współpracy szerokiej grupy doświadczonych specjalistów posiadających szeroką wiedzę z zakresu różnych dziedzin nauki i techniki. Istnieją metody pozwalające na skuteczne pozyskiwanie wiedzy od specjalistów i zapisywanie jej w sposób sformalizowany, a następnie wykorzystywanie jej przy tworzeniu reguł postępowania [9.5]. Przykładem takiego postępowania może być zastosowanie systemu DiaDyn [9.2] bazującego na sieci stwierdzeń [9.3] i pozwalającego na wspomaganie procesu decyzyjnego np. przy projektowaniu systemów diagnozujących bloków energetycznych. Opis procesu projektowania systemów diagnozujących w postaci sieci stwierdzeń w



Rys. 9.1: Przykładowa struktura kompleksowego systemu diagnozującego podstawowe elementy bloku energetycznego

systemie DiaDyn wiąże się z koniecznością utworzenia bardzo licznego zbioru stwierdzeń i haseł im towarzyszących, a następnie skonstruowaniu sieci stwierdzeń. Realizacja takiego zadania jest procesem długotrwałym i powinna być realizowana przez liczną grupę specjalistów.

9.2. Opis zadania

Dla potrzeb prezentacji zalet systemu DiaDyn jako narzędzia, który w skuteczny sposób może wspomóc tworzenie sieci stwierdzeń opracowano przykład obejmujący merytorycznie ograniczoną sieć stwierdzeń. Sieć ta reprezentuje przykład postępowania przy doborze wybranych elementów wchodzących w skład układu monitorowania i diagnostyki wibroakustycznej maszyny wirnikowej. Przykład celowo dobrano tak, aby w prosty i czytelny sposób pokazać główne etapy tworzenia i działanie sieci stwierdzeń. Zadanie pokazane w opisanym przykładzie dotyczy doboru mierzonej wielkości fizycznej oraz rodzaju czujników i ich lokalizacji dla dwupodporowej maszyny wirnikowej. Założono, że warunki mające wpływ na dobór elementów typowych określone będą przez sztywność podpór łożyskowych oraz masę wirnika. Ponadto uwzględniano możliwość występowania niewyrównoważenia momentowego oraz wyższych składowych drgań pochodzących np. od częstotliwości łopatkowych. Przykład zapisano w grupie tematycznej Zespół Testowy systemu DiaDyn https://kpkm.polsl.pl/dia_wiki/pmwiki.php?n=DiaWikiTEST.DiaWikiTEST. Podczas opracowania przykładu posługiwano się wiedzą ogólnie dostępną w publikacjach literaturowych dotyczących diagnostyki technicznej oraz bazowano na wiedzy, doświadczeniu i intuicji autorów.

9.3. Elementy słownika stwierdzeń

Budowanie sieci stwierdzeń rozpoczęto od redagowania słownika stwierdzeń (rozdz. 4). W pierwszej kolejności określono następujący zbiór uwzględnianych stwierdzeń:

- Zastosuj akcelerometr.
- Zastosuj czujnik elektrodynamiczny.
- Zastosuj czujnik prądów wirowych.
- Masa wału jest duża.
- Sztywność podpór łożyskowych jest duża.
- Należy mierzyć drgania na dwóch podporach w kierunkach X i Y.
- Należy mierzyć drgania na dwóch podporach w kierunku Y.

- Należy mierzyć drgania na jednej podporze w kierunkach X i Y.
- Należy mierzyć drgania na jednej podporze w kierunku Y.
- Należy mierzyć drgania bezwzględne podpory łożyska.
- Należy mierzyć drgania względne wału względem podpory łożyska.
- Występuje niewyważenie momentowe.
- Należy mierzyć prędkości drgań.
- Należy mierzyć przemieszczenia drgań.
- Należy mierzyć przyspieszenia drgań.
- Różnica między sztywnością w kierunku X a sztywnością w kierunku Y jest duża.
- Obserwuj położenie znacznika fazy na wale.
- Istnieje potrzeba monitorowania składowych drgań o wysokich częstotliwościach.

Na rysunku 9.2 przedstawiono przykład okna zawierającego elementy wybranego stwierdzenia. Treści wszystkich stwierdzeń dostępne są w systemie DiaDyn w projekcie *Zespół Testowy*.

Rys. 9.2: Przykład stwierdzenia

Przeglądając nazwy stwierdzeń można dostrzec, wyraźną grupę stwierdzeń, które w zależności od stopnia przekonania o ich prawdziwości pozwalają określić warunki działania maszyny mające wpływ na sposób postępowania przy wyborze miejsca i rodzaju mierzonej wielkości fizycznej. Przykładowo, literatura wskazuje [9.1], że w przypadku gdy mamy do czynienia z ciężkim wałem i sztywnymi podporami, zalecany jest pomiar drgań bezwzględnych na korpusie łożyska. Do stwierdzeń tych należą:

- Masa wału jest duża.
- Sztywność podpór łożyskowych jest duża.
- Występuje niewyważenie momentowe.
- Różnica między sztywnością w kierunku X a sztywnością w kierunku Y jest duża.

Inną wyróżniającą się grupę stanowią stwierdzenia, które w zależności od przekonania o ich prawdziwości pozwolą na podejmowanie decyzji dotyczącej sposobu przeprowadzenia pomiaru i rodzaju stosowanego czujnika. Stwierdzeniami tymi są np.:

- Zastosuj akcelerometr.
- Zastosuj czujnik elektrodynamiczny.
- Zastosuj czujnik prądów wirowych.
- Należy mierzyć drgania na dwóch podporach w kierunkach X i Y.
- Należy mierzyć drgania na dwóch podporach w kierunku Y.
- Należy mierzyć drgania na jednej podporze w kierunkach X i Y.

- Należy mierzyć drgania na jednej podporze w kierunku Y.
- Należy mierzyć drgania bezwzględne podpory łożyska.
- Należy mierzyć drgania względne wału względem podpory łożyska.
- Należy mierzyć prędkości drgań.
- Należy mierzyć przemieszczenia drgań.
- Należy mierzyć przyspieszenia drgań.
- Obserwuj położenie znacznika fazy na wale.

Istnieje również stwierdzenie, które w zależności od stopnia jego prawdziwości pozwoli na przekazywanie informacji o wymaganym zakresie analizy częstotliwościowej sygnałów co można zastosować zarówno jako informację rozstrzygającą o rodzaju czujnika jak również pozwalającą kształtować nowe stwierdzenia określające metody estymacji i analizy sygnałów.

Utworzony zbiór stwierdzeń, zgodnie z opisanym w rozdziale 4 sposobem postępowania połączono w słownik o nazwie *Dobór elementów układu diagnozującego*, definiując jednocześnie węzły przyszłej sieci stwierdzeń.

Treści utworzonych stwierdzeń posiadają słowa, które mogą być niezrozumiałe, lub niejednoznacznie z punktu widzenia pewnych osób współtworzących sieć przekonań. W tym celu wymagane jest przygotowanie zbioru haseł. Hasło w module Dia_Wiki posiada nazwę oraz treść i podobnie jak w przypadku powszechnie znanych przykładów haseł encyklopedycznych, pozwala na zapisanie rozszerzonych informacji na temat wybranego słowa, zwrotu lub części zdania. Zastosowanie w treści stwierdzeń odsyłaczy do haseł pozwala na lepsze zrozumienie kontekstu utworzonych stwierdzeń. Aby zapewnić wysoką skuteczność systemu objaśnień liczba haseł nie powinna być zbyt mała. W ramach przykładu utworzono zbiór haseł odnoszących się do zagadnień rozpatrywanych w prezentowanym przykładzie. Lista opracowanych haseł została umieszczona poniżej:

- Akcelerometr.
- Czujnik.
- Czujnik elektrodynamiczny.
- Czujnik wiroprądowy.
- Czujnik znacznika fazy obrotów wału.
- Drgania.
- Drgania bezwzględne.
- Drgania samowzbudne.
- Drgania względne.
- Łożysko.
- Łożysko hydrodynamiczne.
- Łożysko ślizgowe.
- Niewyważenie.
- Niewyważenie Momentowe.
- Panewka.
- Podpora łożyskowa.
- Prędkości drgań.
- Prędkość obrotowa.
- Przemieszczenia drgań.
- Przyspieszenia drgań.

- Sztywność.
- Wał.
- Wirnik.
- Znacznik fazy.

Na rysunku 9.3 przedstawiono przykład jednego z przygotowanych haseł w module Dia_Wiki.

Dia_Wiki

| Strona główna | Szukaj | Pomoc |

DiaWiki / DiaWikiTEST Wyświetl Edytuj Nowa strona Historia zmian Załącz Wydrukuj

Czujnik elektrodynamiczny - identyfikator: StrCzujnikElektrodynamiczny

Opis

Czujnik sejsmiczny stosowany do pomiaru prędkości drgań bezwzględnych . Czujnik elektrodynamiczny zbudowany jest z cewki, wokół której porusza magnes stały o jednorodnym polu magnetycznym , zawieszony na sprężynach będący jednocześnie masą sejsmiczną (Rys. 1). Generowana przez czujnik siła elektromotoryczna *e* jest proporcjonalna do prędkości *v* zmian strumienia magnetycznego *B* oraz do długości uzwojenia cewki *l*.

Rys. 1. Przykład budowy elektrodynamicznego czujnika prędkości i przykładowe rozwiązanie czujnika firmy Wilcoxon [1]

Stosowane są różne rozwiązania konstrukcyjne tego typu czujników . Wykonywane są czujniki z ruchomą cewką i ruchomym magnesem . Poza takimi zaletami jak niska impedancja wyjściowa i brak potrzeby zasilania z zewnątrz , elektrodynamiczne czujniki prędkości mają następujące wady:

- podatność na uszkodzenia części ruchomych czujnika ,
- stosunkowo duże wymiary ,
- wrażliwość czujnika na sposób jego orientacji podczas mocowania (inna czułość przy położeniu pionowym i poziomym),
- wrażliwość na zewnętrzne pole magnetyczne ,
- wąskie pasmo częstotliwości mierzonych drgań w zakresie 10<f<1500 Hz,
- mały zakres dynamiczny 1000:1 związany z występowaniem sił tarcia podczas poruszania się ruchomych elementów czujnika .

Bibliografia

- Barszcz T. "Systemy monitorowania i diagnostyki maszyn ". Wydawnictwo Instytutu Technlogii Eksploatacji - PIB. Kraków 2006.

Rys. 9.3: Przykładowe hasło

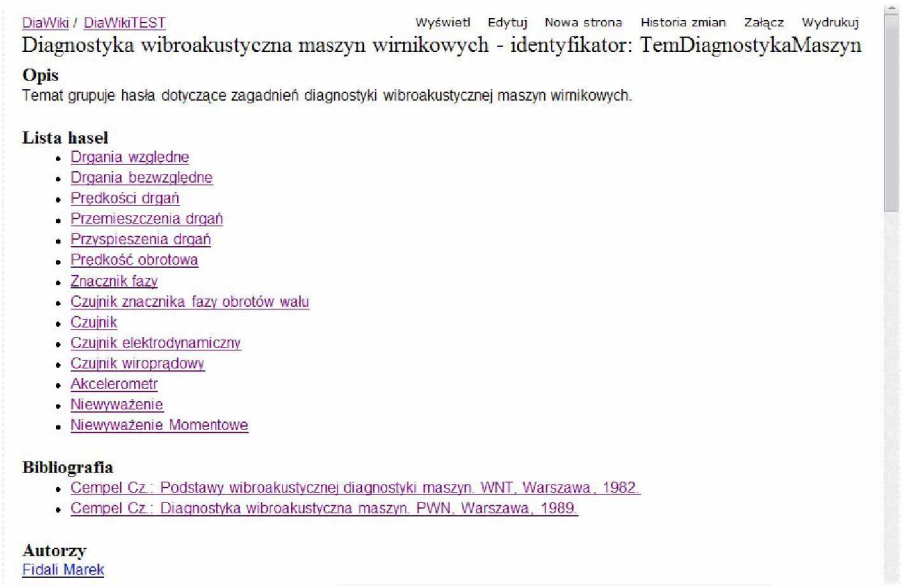
Moduł Dia_Wiki pozwala na definiowanie *Tematów* grupujących utworzone wcześniej hasła w ciągi haseł o podobnym charakterze tematycznym. Te same hasła mogą wchodzić w skład różnych tematów. W rozpatrywanym przykładzie zdefiniowano następujące tematy:

- Diagnostyka wibroakustyczna maszyn wirnikowych.
- Diagnozowanie łożysk ślizgowych.
- Dynamika maszyn wirnikowych.
- Maszyny wirnikowe.
- Pomiar drgań.

Aby wyjaśnić zasadę grupowania haseł w tematy, kolejno na rysunkach 9.4 i 9.5, pokazano zawartość dwóch wybranych tematów.

9.4. Przeprowadzenie procesu wnioskowania

Zasoby, które zostały przygotowane i opracowane w module Dia_Wiki, w kolejnym kroku zostały udostępnione dla modułu Dia_Sta. W aktualnej wersji systemu DiaDyn krok ten może być wykonany



Rys. 9.4: Lista haseł tematu obejmującego hasła związane z diagnostyką maszyn wirnikowych

Rys. 9.5: Lista haseł tematu obejmującego hasła dotyczące zagadnień pomiaru drgań

wyłącznie przez administratora tego systemu. Po wprowadzeniu tych zasobów do modułu Dia_Sta, opracowany słownik stwierdzeń stał się dostępny w tym module i pojawił się na liście dostępnych słowników. Słownik ten posłużył do budowy sieci stwierdzeń nazwanej *Dobór elementów układu diagnozującego*. Po utworzeniu nowej sieci za pomocą polecenia *Dodaj nową sieć* rozpoczęto budowę nowej sieci stwierdzeń. Wszystkie stwierdzenia należące do słownika zostały wybrane na węzły nowo tworzonej sieci (rys. 9.6).

W kolejnych krokach, zgodnie z zaleceniami konstruowania sieci stwierdzeń, opisanymi w rozdziale 5, przystąpiono do budowy relacji pomiędzy poszczególnymi węzłami sieci i wypełnienia opisujących je tablic prawdopodobieństw warunkowych przypisanych poszczególnym węzłom sieci stwierdzeń. Zarówno przy łączeniu poszczególnych stwierdzeń w sieć, jak również przy wypełnianiu tablic prawdopodobieństw warunkowych oparto się głównie na przeprowadzonych badaniach literaturowych dotyczących zaleceń związanych z budową układów diagnozujących. Przy wyborze stwierdzeń wprowadzonych do słownika zastosowano szereg uproszczeń, które pozwoliły na ograniczenie ich liczby w sieci. Na rys. 9.7 przedstawiono tablicę prawdopodobieństw warunkowych dla węzła sieci stwierdzeń określającego potrzebę wykonywaniu pomiarów przemieszczeń drgań.

Oprócz samej sieci stwierdzeń, przygotowano również drzewo stwierdzeń prezentujące wyniki

Dia_Sta

Sieć stwierdzen: **Dobór elementów układu diagnozującego.**

Węzly nalezące do sieci stwierdzeń:

Istnieje potrzeba monitorowania drgań o wysokich częstotliwościach

Masa wału jest duża

Należy mierzyć drgania bezwzględne podpory łożyska

Należy mierzyć drgania na dwóch podporach w kierunkach X i Y

Należy mierzyć drgania na dwoch podporach w kierunku Y

Należy mierzyć drgania na jednej podporze w kierunkach X i Y

Należy mierzyć drgania na jednej podporze w kierunku Y

Należy mierzyć drgania względne wału względem podpory łożyska

Należy mierzyć przemieszczenia drgań

Należy mierzyć przyspieszenia drgań

Należy mierzyć prędkości drgań

Obserwuj położenie znacznika fazy na wale

Rys. 9.6: Stwierdzenia należące do sieci *Dobór elementów układu diagnozującego*

działania opracowanej sieci. Do drzewa stwierdzeń wybrano część z stwierdzeń należących do opracowanej sieci. Uznano bowiem, że nie ma konieczności prezentowania wszystkich wyników działania sieci. Część z węzłów sieci stwierdzeń jest traktowana jako węzły pomocnicze i nie jest konieczna prezentacja wyników dla tych węzłów. W przypadku niektórych stwierdzeń, uznano za zasadne zaprezentowanie wartości stwierdzeń mających bezpośredni wpływ na ich wartość.

Na podstawie tak opracowanej sieci oraz drzewa stwierdzeń przystąpiono (wg rozdz. 7) do definiowania nowego zadania *Dobór elementów układu diagnozującego - zad nr 1*, umożliwiającego przeprowadzenie procesu wnioskowania. W opcjach uruchamiających zadanie można wprowadzić wartości stopnia przekonania o prawdziwości poszczególnych stwierdzeń. Fragment listy parametrów zadania przedstawiono na rys 9.8. Ponieważ lista parametrów tego zadania jest dosyć duża, nie mieści się ona na jednym ekranie.

Tak przygotowaną sieć stwierdzeń można uruchomić i przetestować. Testy opracowanej sieci stwierdzeń przeprowadzono dla trzech przypadków:

- nie są znane wartości stwierdzeń poszczególnych węzłów sieci,
- znane są wybrane informacje o obiekcie, co pozwala określić wartości wybranych stwierdzeń,
- znane są pewne elementy toru pomiarowego.

9.4.1. Przypadek 1

Pierwszy test sieci przeprowadzono dla przypadku, w którym nie mamy żadnych informacji o obiekcie, ani o układzie diagnozującym. Dla takiego przypadku wartości początkowe wszystkich stwierdzeń są ustawione jako nieznane i przyjmują wartość `N`, jak pokazano na rys. 9.8. Dla tak zdefiniowanego

Dia_Sta

Sieć stwierdzeń: **Dobór elementów układu diagnozującego.**
Węzeł: **Należy mierzyć przemieszczenia drgań.**

N1 - Należy mierzyć drgania względne wału względem podpory łożyska
N2 - Istnieje potrzeba monitorowania drgań o wysokich częstotliwościach

Tak	Nie	N1	N2
0.5	0.5	Tak	Tak
0.9	0.1	Tak	Nie
0.1	0.9	Nie	Tak
0.3	0.7	Nie	Nie

Rys. 9.7: Postać tablicy prawdopodobieństw warunkowych dla wybranego węzła sieci

problemu uruchomiono przygotowane zadanie. Wynik działania sieci jest prezentowany w postaci drzewa stwierdzeń z wyznaczonymi przez sieć stopniami przekonania o prawdziwości poszczególnych stwierdzeń. Postać drzewa stwierdzeń przedstawiono na rys. 9.9.

Otrzymane wyniki działania sieci można zinterpretować następująco:

- należy mierzyć przyspieszenia drgań,
- należy zastosować akcelerometr,
- czujniki należy umieścić na jednej podporze,
- należy umieścić jeden czujnik na kierunku Y.

9.4.2. Przypadek 2

Drugi przypadek opisuje sytuację, w której znane są pewne informacje i wymagania dotyczące obiektu badań. Założono, że znane są:

- sztywność podpór oraz różnica sztywności podpory w kierunku pionowym i poziomym,
- masa wirnika,
- możliwość wystąpienia drgań o wysokich częstotliwościach,
- występowanie niewyważenia momentowego.

Te informacje pozwoliły na ustalenie wejściowych wartości stwierdzeń dla zadania. Przyjęto następujące wejściowe wartości stwierdzeń:

- *Masa wału jest duża* : 0.9
- *Sztywność podpór łożyskowych jest duża* : 0.9
- *Różnica między sztywnością w kierunku X a sztywnością w kierunku Y jest duża* : 0.8
- *Istnieje potrzeba monitorowania drgań o wysokich częstotliwościach* : 1.0

Dia_Sta

Edycja wartosci stwierdzeń dla zadania - **Dobor elementow ukladu diagnozujacego - zad nr 1**

Nazwa zbioru wartości stwierdzeń:
Wartosci domyslne dla

Nazwa stwierdzenia	Wartość stwierdzenia
Zastosuj akcelerometr	N
Obserwuj położenie znacznika fazy na wale	N
Zastosuj czujnik elektrodynamiczny	N
Zastosuj czujnik prądów wirowych	N
Masa wału jest duża	N
Sztywność podpór łożyskowych jest duża	N
Należy mierzyć drgania na dwóch podporach w kierunkach X i Y	N
Należy mierzyć drgania na dwoch podporach w kierunku Y	N
Należy mierzyć drgania na jednej podporze w kierunkach X i Y	N
Należy mierzyć drgania na jednej podporze w kierunku Y	N
Należy mierzyć drgania bezwzględne podpory łożyska	N

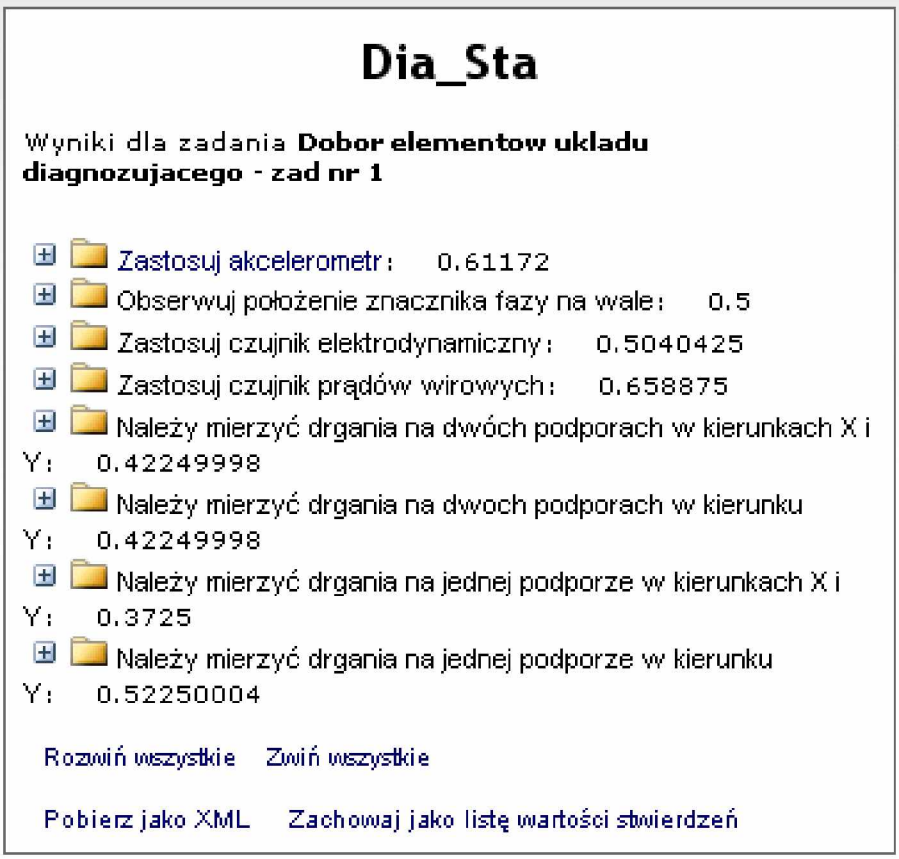
Rys. 9.8: Fragment listy z parametrami zadania

- *Występuje niewyważenie momentowe* : 0.9

Dla tak określonych parametrów działania sieci otrzymano wyniki pokazane na rys. 9.10. Na ich podstawie można wysnuć następujące wnioski:

- należy zastosować pomiar przyspieszeń za pomocą akcelerometru,
- czujniki należy umieścić na dwóch podporach,
- na każdej podporze należy umieścić dwa czujniki w kierunkach X i Y,
- należy zastosować czujnik prądów wirowych.

Rozwijając drzewo stwierdzeń, np. dla stwierdzenia *Zastosuj akcelerometr*, można zobaczyć stwierdzenia, które miały wpływ na wartość tego stwierdzenia. Przedstawione są również wartości



Rys. 9.9: Drzewo stwierdzeń z wynikami działania sieci dla przypadku 1

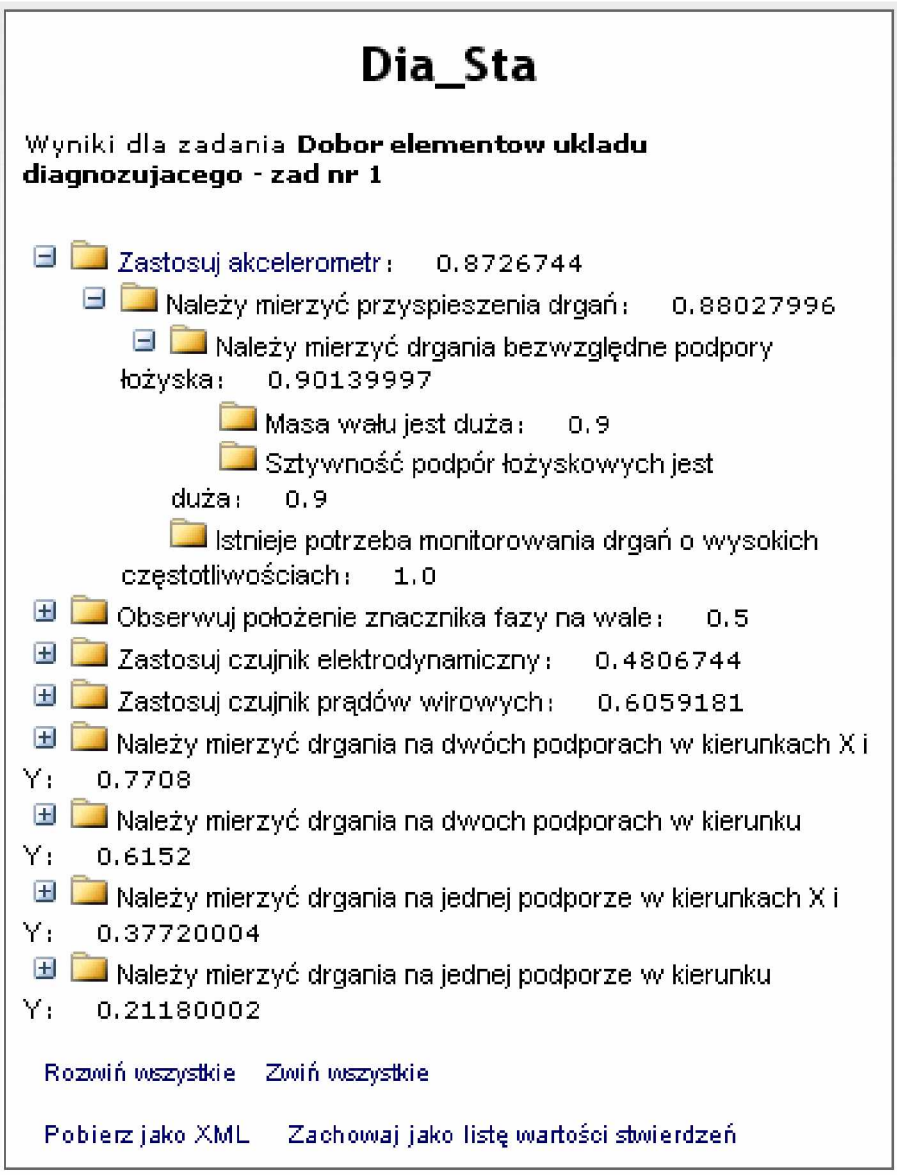
tych stwierdzeń.

9.4.3. Przypadek 3

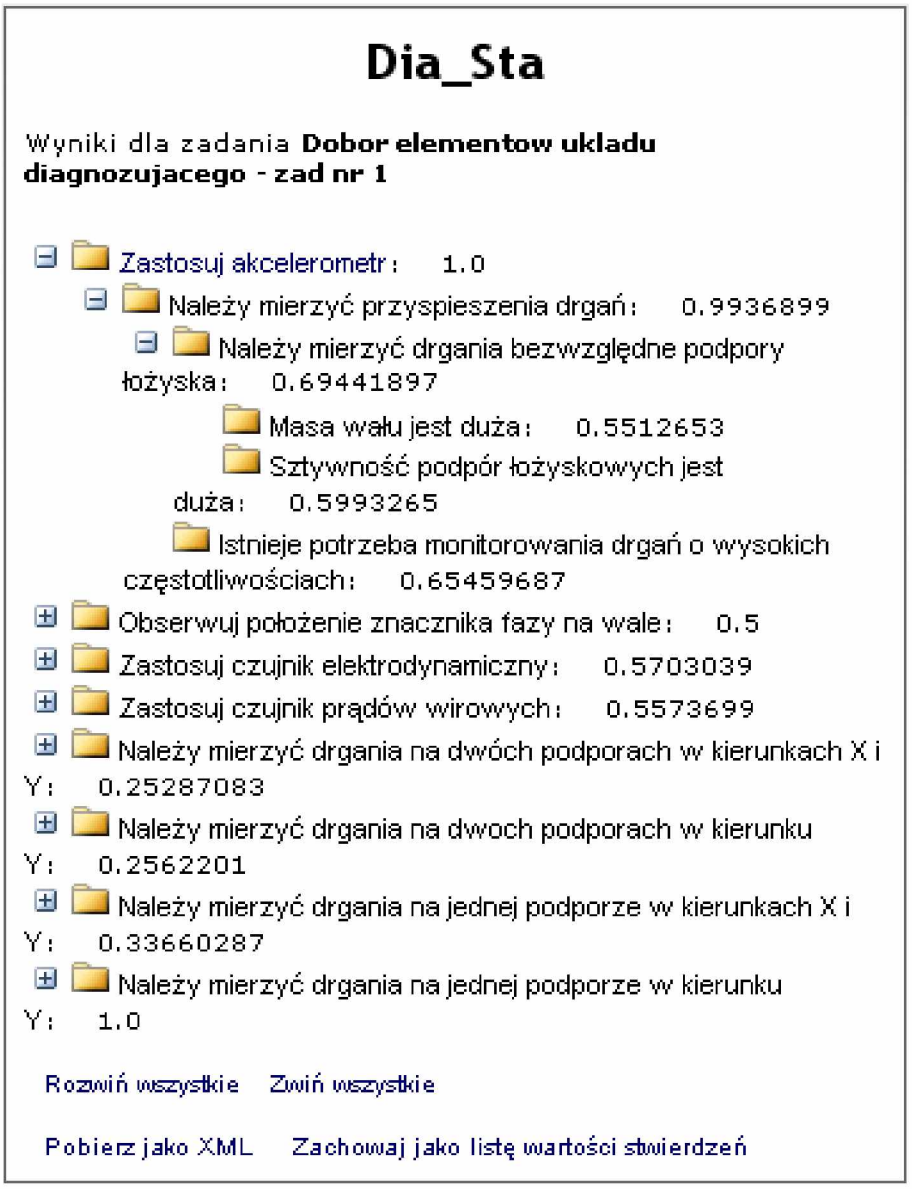
Trzeci przypadek był rozpatrywany dla sytuacji, w której znane są elementy układu diagnozowania. Założono, że na obiekcie zamontowano akcelerometr, oraz że jest on zamocowany na jednej podporze w jednym kierunku. Przyjęcie takich założeń prowadziło do następujących początkowych wartości stwierdzeń:

- *Zastosuj akcelerometr* : 1.0
- *Należy mierzyć drgania na jednej podporze w kierunku Y* : 1.0

Po uruchomieniu zadania otrzymano wyniki przedstawione na rys. 9.11. Na podstawie otrzymanych wyników można stwierdzić, że układ nie pozwoli na rozpoznanie niewyważenia momentowego, oraz że nie ma potrzeby stosowania znacznika położenia fazy na wale.



Rys. 9.10: Drzewo stwierdzeń z wynikami działania sieci dla przypadku 2



Rys. 9.11: Drzewo stwierdzeń z wynikami działania sieci dla przypadku 3

9.5. Podsumowanie

W powyższym rozdziale przedstawiono przykład praktycznego wykorzystania systemu DiaDyn, do przeprowadzenia procesu wnioskowania dla konkretnego przykładu. Opracowano pełną wersję słownika stwierdzeń. Do opracowanego słownika, przygotowano również zestaw tematów wraz z hasłami, które umożliwiają wyjaśnienie stosowanych w stwierdzeniach zwrotów oraz słów. Dla opracowanego słownika, zbudowano sieć stwierdzeń. Wartości tablic prawdopodobieństw warunkowych dla poszczególnych węzłów opracowanej sieci zostały określone na podstawie przeprowadzonych badań literaturowych. Działanie sieci przetestowano na kilku przykładach różnych danych wejściowych.

Bibliografia

[9.1] Cempel Cz. *Diagnostyka wibroakustyczna maszyn.* PWN, Warszawa, 1989.

[9.2] Cholewa W., redaktor. *Warsztaty DIADYN. Materiały seminaryjne*, Ustroń, 2006. Politechnika Śląska, Katedra Podstaw Konstrukcji Maszyn.

[9.3] Cholewa W. Statement networks in expert systems for condition monitoring. Korbicz J., Patan K., Kowal M., redaktorzy, *Fault Diagnosis and Fault Tolerant Control*, strony 231–238, Warszawa, 2007. Academic Publishing House EXIT.

[9.4] Janiczek R. S. *Eksploatacja elektrowni parowych.* WNT, 1992.

[9.5] Moczulski W. *Metody pozyskiwania wiedzy dla potrzeb diagnostyki maszyn.* Mechanika – Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, z.130. Politechnika Śląska, Gliwice, 1997.

[9.6] Uhl T. Współczesne rozwiązania systemów monitorowania stanu maszyn. *Materiały V Konferencji Naukowo-Technicznej Diagnostyka Procesów Przemysłowych DPP'01*, strony 23–30, Łagów Lubuski, 17-19 wrzesień 2001.