

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

# **Szkieletowy system doradczy DIADYN**

**Wojciech CHOLEWA (red.)**

**Gliwice 2008**

*Recenzenci*

prof. dr hab. inż. Jan Kiciński - Instytut Maszyn Przepływowych PAN, Gdańsk  
prof. dr hab. Wojciech Moczulski - Politechnika Śląska, Gliwice

*Redaktor zeszytów*

Wojciech Cholewa

*Redaktor techniczny*

Marek Wyleżoł

*Projekt okładki*

Wojciech Cholewa, Marek Wyleżoł

*BibTeX*

```
@BOOK{, title = {Szkieletowy system doradczy DIADYN}, publisher = {Politechnika  
Śląska, Katedra Podstaw Konstrukcji Maszyn}, year = {2008}, editor = {Cholewa,  
W.}, volume = {137}, series = {Zeszyty}, address = {Gliwice} }
```

**ISBN 978-83-60759-08-0**

*Wydawca*

Katedra Podstaw Konstrukcji Maszyn  
Wydział Mechaniczny Technologiczny  
Politechnika Śląska  
ul. Konarskiego 18a, 44-100 Gliwice  
tel. (032) 237-14-67, fax (032) 237-13-60  
<https://kpk.m.polsl.pl>

---

Druk i oprawa (z dostarczonych materiałów):  
Drukarnia cyfrowa D&D sp. z o.o. ul. Moniuszki 6, 44-100 Gliwice

# Spis treści

<b>1</b>	<b>Wprowadzenie</b>	<b>7</b>
	Bibliografia . . . . .	9
<b>2</b>	<b>Sieci stwierżeń w diagnostycznych systemach doradczych</b>	<b>11</b>
2.1	Wstęp . . . . .	11
2.2	Diagnostyczne systemy doradcze . . . . .	12
2.2.1	Systemy doradcze . . . . .	12
2.2.2	Zmienne otoczenie . . . . .	13
2.2.3	Przybliżone systemy doradcze . . . . .	14
2.2.4	Sieci przekonań . . . . .	14
2.2.5	Tablice ogłoszeń . . . . .	15
2.3	Sieci stwierżeń . . . . .	15
2.3.1	Fakty i stwierżenia . . . . .	16
2.3.2	Stwierżenia pierwotne, wtórne i wynikowe . . . . .	17
2.3.3	Przybliżone warunki konieczne i dostateczne . . . . .	19
2.3.4	Formalna poprawność baz wiedzy . . . . .	20
2.3.5	Model sieci stwierżeń - analogia mechaniczna . . . . .	20
2.3.6	Globalne, lokalne i wielowarstwowe sieci stwierżeń . . . . .	22
2.3.7	Sieci stwierżeń dynamicznych . . . . .	23
2.4	Wnioski . . . . .	24
	Bibliografia . . . . .	24
<b>3</b>	<b>Szkielet systemu doradczego DiaDyn</b>	<b>27</b>
3.1	Wstęp . . . . .	27
3.2	Wybór narzędzia . . . . .	27
3.2.1	Charakterystyka systemu Dragonfly CMS . . . . .	28
3.2.2	Struktura zabezpieczeń systemu DiaDyn . . . . .	29
3.3	Główne okno modułu Dia_Sys . . . . .	30
3.4	Rejestrowanie nowych użytkowników . . . . .	32
3.4.1	Rejestracja w systemie DiaDyn . . . . .	32
3.4.2	Rejestracja w projekcie . . . . .	34
3.5	Logowanie w systemie DiaDyn . . . . .	35
3.6	Zasoby Systemu DiaDyn . . . . .	35
3.7	Tworzenie własnych modułów . . . . .	36
3.7.1	Podstawowa struktura modułu . . . . .	36
3.7.2	Menu modułu . . . . .	38
3.7.3	Zmienne specjalne . . . . .	38
3.7.4	Dołączanie zewnętrznych bibliotek . . . . .	38
3.7.5	Przykład modułu . . . . .	39
	Bibliografia . . . . .	44

<b>4</b>	<b>Redagowanie sieci stwierdzeń</b>	<b>45</b>
4.1	Wprowadzenie . . . . .	45
4.2	Redagowanie stwierdzeń . . . . .	45
4.2.1	Definiowanie zasobów w module Dia_Wiki . . . . .	48
4.2.2	Definiowanie stwierdzenia . . . . .	49
4.2.3	Łączenie stwierdzeń w słownik . . . . .	50
4.2.4	Definiowanie hasła . . . . .	51
4.2.5	Łączenie haseł w tematy . . . . .	53
4.3	Podsumowanie . . . . .	53
	Bibliografia . . . . .	54
<b>5</b>	<b>Konstruowanie sieci stwierdzeń</b>	<b>55</b>
5.1	Wprowadzenie . . . . .	55
5.2	Konstruowanie sieci stwierdzeń . . . . .	56
5.3	Definiowanie drzewa stwierdzeń . . . . .	62
5.4	Podsumowanie . . . . .	64
	Bibliografia . . . . .	64
<b>6</b>	<b>Wnioskowanie w sieci stwierdzeń zorganizowanej jako sieć bayesowska</b>	<b>67</b>
6.1	Wstęp . . . . .	67
6.2	Wybór środowiska . . . . .	67
6.3	Ogólna struktura modułu Dia_Bel . . . . .	68
6.4	Agent typu aMaster . . . . .	69
6.4.1	Uruchomienie agenta . . . . .	70
6.4.2	Parametry zadania . . . . .	70
6.5	Agent typu aNetica . . . . .	70
6.5.1	Realizacja procesu wnioskowania . . . . .	71
6.5.2	Stosowanie sieci bayesowskich . . . . .	71
6.6	Tworzenie własnych agentów . . . . .	71
6.6.1	Struktura przykładowego agenta . . . . .	72
6.6.2	Uruchomienie modułu Dia_Bel . . . . .	78
6.6.3	Testowanie modułu Dia_Bel . . . . .	78
	Bibliografia . . . . .	82
<b>7</b>	<b>Stosowanie sieci stwierdzeń</b>	<b>83</b>
7.1	Wprowadzenie . . . . .	83
7.2	Definiowanie i uruchamianie zadań . . . . .	84
7.3	Podsumowanie . . . . .	87
	Bibliografia . . . . .	88
<b>8</b>	<b>Baza danych uczących</b>	<b>89</b>
8.1	Wstęp . . . . .	89
8.2	Opis zastosowanego rozwiązania . . . . .	89
8.2.1	Formaty plików . . . . .	89
8.2.2	Schemat bazy danych uczących . . . . .	93
8.2.3	Scenariusz przekazywania danych do BDU . . . . .	96
8.2.4	Scenariusz odczytu danych z BDU . . . . .	96
8.2.5	Przekazywanie danych z BDU do środowiska MATLAB . . . . .	97
8.3	Przykład zastosowania . . . . .	97
8.3.1	Przygotowanie pliku z danymi wejściowymi do BDU . . . . .	97
8.3.2	Przykład przekazania pliku do BDU . . . . .	97
8.3.3	Przykład wyszukania i pobrania pliku z BDU . . . . .	98



Bibliografia . . . . .	100
<b>9 Prosty przykład sieci stwierżeń . . . . .</b>	<b>101</b>
9.1 Wstęp . . . . .	101
9.2 Opis zadania . . . . .	102
9.3 Elementy słownika stwierżeń . . . . .	102
9.4 Przeprowadzenie procesu wnioskowania . . . . .	105
9.4.1 Przypadek 1 . . . . .	107
9.4.2 Przypadek 2 . . . . .	108
9.4.3 Przypadek 3 . . . . .	110
9.5 Podsumowanie . . . . .	113
Bibliografia . . . . .	113
<b>10 Przykład bazy wiedzy wspomagającej projektowanie układów diagnozujących i procedur diagnostycznych w zakresie diagnostyki wibroakustycznej . . . . .</b>	<b>115</b>
10.1 Wprowadzenie . . . . .	115
10.2 Projektowanie układów diagnozujących . . . . .	115
10.2.1 Cechy sygnałów diagnostycznych . . . . .	118
10.2.2 Podsystemy układów diagnostycznych . . . . .	119
10.3 Przykład opracowanej bazy wiedzy . . . . .	120
10.3.1 Opracowany słownik stwierżeń . . . . .	121
10.3.2 Opracowane hasła i tematy . . . . .	123
10.3.3 Opracowana sieć stwierżeń . . . . .	124
10.3.4 Przykład procesu wnioskowania . . . . .	127
10.4 Podsumowanie . . . . .	130
Bibliografia . . . . .	130
<b>11 Przykład bazy wiedzy wspomagającej projektowanie układów diagnozujących i procedur diagnostycznych w zakresie diagnostyki termicznej . . . . .</b>	<b>131</b>
11.1 Wstęp . . . . .	131
11.2 Zjawiska cieplne zachodzące w maszynach . . . . .	131
11.2.1 Przepływ ciepła przez kondukcję (przewodzenie) . . . . .	132
11.2.2 Przepływ ciepła przez konwekcję . . . . .	132
11.2.3 Przepływ ciepła przez radiację (promieniowanie) . . . . .	133
11.3 Metody pomiaru temperatury . . . . .	134
11.3.1 Stykowe metody pomiaru temperatury . . . . .	134
11.3.2 Bezstykowe metody pomiaru temperatury . . . . .	137
11.3.3 Metodyka pomiarów termowizyjnych . . . . .	140
11.3.4 Wybór metody pomiarowej . . . . .	141
11.4 Diagnostyka termiczna . . . . .	142
11.4.1 Pasywna diagnostyka termiczna . . . . .	142
11.4.2 Aktywna diagnostyka termiczna . . . . .	143
11.4.3 Metodyka diagnostyki termicznej . . . . .	146
11.5 Zastosowanie diagnostyki termicznej . . . . .	147
11.6 Przykład zapisu wiedzy dotyczącej diagnostyki termicznej maszyn i urządzeń . . . . .	148
11.7 Podsumowanie . . . . .	157
Bibliografia . . . . .	158



# Rozdział 1

## Wprowadzenie

Wojciech CHOLEWA

Eksplatacja złożonych maszyn i urządzeń wymaga ciągłego lub okresowego sprawdzania ich stanu technicznego. Zadania takie realizowane są przez układy monitorujące i diagnozujące [1.2, 1.6, 1.5, 1.1]. Głównym zadaniem układów diagnozujących jest rozpoznawanie aktualnego stanu technicznego. Działanie takich układów jest tematem licznych badań (np. [1.8]), i może być wspomagane między innymi przez systemy doradcze [1.7].

W niniejszej monografii omówiono zagadnienia związane z budową i działaniem szkieletowego systemu doradczego DiaDyn. Monografia ta powstała w wyniku uporządkowania i rozszerzenia wydanych wcześniej materiałów szkoleniowych [1.3, 1.4]. System DiaDyn wykonano w Katedrze Podstaw Konstrukcji Maszyn Politechniki Śląskiej, w ramach projektu PBZ-KBN-105/T10/2003 pt. „*Zintegrowany, dynamiczny system oceny ryzyka, diagnostyki oraz sterowania dla obiektów i procesów technicznych*” realizowanego przez liczną grupę zespołów badawczych, pod kierunkiem prof. dra hab. inż. Jana Kicińskiego.

Na podstawie przeprowadzonych badań zaproponowano oryginalną konstrukcję systemu doradczego, bazującego na koncepcji tablicy ogłoszeń, stosującego sieć stwierdzeń i umożliwiającego gromadzenie oraz stosowanie wiedzy niepewnej i przybliżonej. Założono, że w rozwiązaniu tym wyjątkową rolę pełnić będą stwierdzenia, których zbiór pozwoli na opisanie różnych aspektów rozpatrywanego obiektu technicznego. Stwierdzenie jest informacją o uznaniu treści stwierdzenia, czyli wypowiedzi orzekającej o obserwowanych faktach lub reprezentującej określoną opinię. Stwierdzenia mogą być rozpatrywane jako obiekty pełniące rolę zdań logicznych, zawierające jednocześnie treść, czyli opis ich interpretacji, występujący w postaci dowolnie rozbudowanej wypowiedzi lub opinii. Specyfikacja takich stwierdzeń oraz związków zachodzących między nimi może reprezentować wiedzę określonej dziedziny.

Szkieletowy system doradczy **DiaDyn** posiada budowę modułową. Umożliwia on realizację procesu wnioskowania na podstawie sieci stwierdzeń. Wszystkie elementy tego systemu są zainstalowane (i wykonywane) na serwerze stron internetowych. Do korzystania z systemu potrzebna jest jedynie przeglądarka. Działania w systemie może wykonywać uprawniony użytkownik, po zalogowaniu się. Głównymi modułami systemu są:

- moduł **Dia\_Wiki** przeznaczony do redagowania treści stwierdzeń oraz systemu objaśnień,
- moduł **Dia\_Sta** przeznaczony do konstruowania sieci stwierdzeń i uruchamiania procesu wnioskowania,
- moduł **Dia\_Bel** przeznaczony do realizacji procesu wnioskowania.
- moduł **Dia\_Sys** integrujący działanie pozostałych modułów oraz wspomagający obsługę systemu z poziomu przeglądarki internetowej,

Baza wiedzy systemu DiaDyn występuje w postaci sieci stwierdzeń. Podstawą do opracowania sieci stwierdzeń jest odpowiednio przygotowany *słownik stwierdzeń*, na podstawie którego możliwe będzie utworzenie nowej sieci. W celu zdefiniowania nowego *słownika* należy najpierw opracować zbiór *stwierdzeń*, które będą elementami tego słownika. Do wyjaśnienia nieznanymi słów, pojęć lub zwrotów, służą elementy nazywane w module Dia.Wiki *hasłami*. Hasła poruszające podobne zagadnienia lub dotyczące określonej tematyki mogą być grupowane w *tematy*. W ten sposób dla każdej sieci stwierdzeń można opracować odpowiedni system objaśnień, który po połączeniu z tą siecią może służyć do wyjaśnienia wyników jej działania. Tak opracowany system objaśnień jest szczególną formą zapisu wiedzy na określony temat. Umożliwia on zarówno wprowadzanie opisów dotyczących fragmentów wybranego stwierdzenia, jak również przygotowanie odpowiedniego tematu będącego zestawem haseł wyjaśniających dane stwierdzenie lub zagadnienie.

Proces wnioskowania w systemie DiaDyn realizowany jest przez moduł Dia.Bel. Moduł ten udostępnia system wieloagentowy powiązany z systemem DiaDyn za pośrednictwem bazy danych.

Ogólną koncepcję sieci stwierdzeń opisano w rozdziale 2. Omówiono istotę działania sieci pozwalających na modelowanie przybliżonych relacji przyczynowo-skutkowych oraz wyjaśniono zasadę działania dynamicznych sieci stwierdzeń, które wyznaczają kierunki dalszych badań.

W Rozdziale 3 opisano budowę i działanie podstawowego modułu opracowanego systemu DiaDyn oraz uzasadniono wybór środowiska, w którym rozwijany jest ten system. Pokazano czynności niezbędne do rozpoczęcia pracy z systemem DiaDyn.

W kolejnych rozdziałach omówiono działanie modułów, których zastosowanie jest niezbędne w celu przekształcenia systemu szkieletowego (czyli systemu posiadającego pustą bazę wiedzy) w działający system doradczy. W Rozdziale 4 opisano zagadnienia związane z obsługą modułu pozwalającego na redagowanie pojedynczych stwierdzeń i słownika stwierdzeń oraz redagowanie haseł objaśniających związanych ze stwierdzeniami. W Rozdziale 5 omówiono czynności pozwalające na konstruowanie sieci stwierdzeń, której węzłami są elementy zredagowanego wcześniej słownika stwierdzeń.

W Rozdziale 6 wyjaśniono w jaki sposób przeprowadzany jest proces wnioskowania w zdefiniowanych sieciach stwierdzeń rozpatrywanych jako sieci przekonania. Omówione w Rozdziale 3 jądro systemu DiaDyn jest przystosowane do realizacji różnych modeli wnioskowania w sieci stwierdzeń, w tym modeli opisanych w Rozdziale 2. Implementacja tych modeli wymaga jednak dalszych badań. Zastosowanie metod wnioskowania omówionych w Rozdziale 6 dla konkretnej sieci stwierdzeń wymaga zdefiniowania zadania dla systemu DiaDyn. Czynności związane z definiowaniem i uruchamianiem takich zadań omówiono w Rozdziale 7.

O jakości budowanego systemu doradczego bazującego na sieci stwierdzeń decydują zgromadzone stwierdzenia i rozpoznane związki między nimi. W procesie pozyskiwania wiedzy na temat tych związków stosowane są badania symulacyjne oraz bierne, a czasami nawet czynne badania (eksperymenty) diagnostyczne. W Rozdziale 8 omówiono moduł umożliwiający gromadzenie wyników takich badań, w sposób ułatwiający zarządzanie nimi wtedy gdy pochodzą one z różnych źródeł, stosujących różne formaty zapisu danych i ich indeksacji.

W celu zilustrowania możliwości zastosowania omawianego systemu DiaDyn zamieszczono trzy przykłady:

- przykład postępowania przy kompletowaniu wybranych elementów wchodzących w skład układu monitorowania i diagnostyki wibroakustycznej maszyny wirnikowej (rozdział 9),
- przykład fragmentu bazy wiedzy wspomagającej projektowanie układów diagnozujących i procedur diagnostycznych w zakresie diagnostyki wibroakustycznej (rozdział 10),
- przykład fragmentu bazy wiedzy wspomagającej projektowanie układów diagnozujących i procedur diagnostycznych w zakresie diagnostyki termicznej (rozdział 11).

Przykłady te obejmują definiowanie stwierdzeń, słowników stwierdzeń, haseł objaśniających, tematów będących zbiorami haseł oraz próby budowania sieci stwierdzeń i ustalania wartości prawdopodobieństw warunkowych definiujących sieć przekonania.

Pokazują one kompletne ciągi działań, jakie należy wykonać w celu zbudowania, a następnie użycia prostych systemów doradczych.

## Bibliografia

- [1.1] Barszcz T. *Systemy monitorowania i diagnostyki maszyn*. ITeE, Radom, 2006.
- [1.2] Cempel Cz. *Diagnostyka wibroakustyczna maszyn*. PWN, Warszawa, 1989.
- [1.3] Cholewa W., redaktor. *Warsztaty DIADYN. Materiały seminaryjne*. Politechnika Śląska, Katedra Podstaw Konstrukcji Maszyn, Ustroń, 2006.
- [1.4] Cholewa W., redaktor. *Warsztaty DIADYN '07. Materiały seminaryjne*. Politechnika Śląska, Katedra Podstaw Konstrukcji Maszyn, Gliwice, 2007.
- [1.5] Cholewa W., Kaźmierczak J. *Diagnostyka techniczna maszyn. Przetwarzanie cech sygnałów*. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice, wydanie 2, 1995.
- [1.6] Cholewa W., Moczulski W. *Diagnostyka techniczna maszyn. Pomiary i analiza sygnałów*. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice, 1993.
- [1.7] Cholewa W., Pedrycz W. *Systemy doradcze*. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice, 1987.
- [1.8] Korbicz J., Kościelny J.M., Kowalczyk Z., Cholewa W., redaktorzy. *Diagnostyka procesów. Modele, metody sztucznej inteligencji, zastosowania*. WNT, Warszawa, 2002.



## Rozdział 2

# Sieci stwierdzeń w diagnostycznych systemach doradczych

Wojciech CHOLEWA

### 2.1. Wstęp

Jednym z głównych osiągnięć dziedziny wiedzy nazywanej sztuczną inteligencją jest wprowadzenie i rozwój systemów wspomagających procesy podejmowania decyzji. Tematem wielu prac są systemy wspomagające podejmowanie decyzji pozwalających na racjonalną eksploatację obiektów technicznych, między innymi na podstawie informacji o aktualnym i prognozowanym stanie rozpatrywanego obiektu. Informacje takie mogą być pozyskiwane za pomocą systemów diagnozujących i monitorujących. Systemy diagnozujące umożliwiają rozpoznawanie stanu lub zmian stanu technicznego rozpatrywanego obiektu na podstawie zgromadzonych wyników obserwacji jego działania. Systemy monitorujące umożliwiają ciągłą obserwację działania obiektu, której wyniki stanowią podstawę do rozpoznawania zachodzących zmian klas stanu technicznego.

Obiekty badań diagnostycznych można podzielić na dwie, istotnie różniące się klasy. Do pierwszej klasy należą obiekty, w których nie występują elementy ulegające stopniowemu zużyciu. Do drugiej klasy należą obiekty, w których występują elementy zużywające się. Brak elementów zużywających się ułatwia klasyfikację stanów i eliminuje konieczność definiowania zużycia dopuszczalnego. Nie oznacza to jednak, że budowanie systemów rozpoznających stan takich obiektów jest zadaniem prostszym, ponieważ brak elementów zużywających się ogranicza zbiór symptomów sygnalizujących stopniowe zmiany stanu.

Procesy wnioskowania o stanach technicznych obiektów i ich zmianach mogą być wspomagane różnymi sformalizowanymi systemami podejmowania decyzji. Szczególne znaczenie mają systemy nazywane systemami bazującymi na wiedzy. Systemy te dysponując zapisaną wiedzą specjalistów z wybranej dziedziny, mogą ją stosować wielokrotnie, umożliwiając rozwiązywanie zadań bez bezpośredniego udziału specjalisty.

W procesie budowania i stosowania systemów bazujących na wiedzy można wskazać trzy znacznie różniące się role, w jakich występują korzystające z nich osoby lub inne systemy. Główną rolę jest użytkownik końcowy, który stosuje system jako narzędzie wspomagające prowadzony przez tego użytkownika proces podejmowania decyzji o stanie rozpatrywanego obiektu. Pozostałe dwie role to specjalista dziedziny zastosowań, odpowiedzialny za wiedzę zgromadzoną w systemie oraz inżynier wiedzy, odpowiedzialny za wybór istoty działania systemu i sposobu reprezentacji wiedzy, odpowiednio dla uwzględnianej wiedzy. Rozwojowi tych systemów sprzyja wyraźne rozdzielenie ról specjalisty dziedziny zastosowań i inżyniera wiedzy.

Z przeglądu obszernej literatury omawiającej zasady działania systemów diagnozujących bazujących na wiedzy wynika, że zastosowano już większość koncepcji znanych w dziedzinie sztucznej inte-

ligencji. Analizując pole możliwych rozwiązań dla takich systemów można dojść do wniosku, iż próby rozszerzenia tego pola wymagają sięgnięcia do innych dziedzin, w celu poszukiwania nowych koncepcji bazujących na przykład na odpowiednich analogiach. Jedną z takich dziedzin jest mechanika, która podpowiada możliwość rozpatrywania zmian opinii o badanym obiekcie jako ruchu oddziaływujących na siebie punktów materialnych. Punkty te mogą odpowiadać opiniom. Oddziaływania między tymi punktami mogą reprezentować relacje przyczynowo-skutkowe oraz relacje asocjacji występujące między opiniami. Masy przyporządkowane takim punktom pozwalają na rozszerzenie możliwości stosowanych dotychczas modeli baz wiedzy i rozpatrywanie dynamicznych baz wiedzy.

Rozdział jest poprawioną i rozszerzoną wersją prac [2.6, 2.7, 2.8]. Jego celem jest przedstawienie zwięzłego przeglądu wybranych systemów wspomagających wnioskowanie oraz omówienie istoty działania nowych systemów budowanych jako sieci stwierdzeń, a w szczególności sieci stwierdzeń dynamicznych. Sieci te są aktualnie przedmiotem intensywnych badań. Przewiduje się możliwość ich skutecznego zastosowania w systemach diagnozujących i monitorujących.

## 2.2. Diagnostyczne systemy doradcze

W podrozdziale tym porównano wybrane systemy, które mogą być stosowane do wspomaganie procesu podejmowania decyzji w badaniach diagnostycznych. Opisano zwięzłe działanie *dokładnych i przybliżonych systemów doradczych* oraz możliwości uwzględniania ich zmiennego otoczenia. Omówiono główne zalety *sieci przekonań* nazywanych również *sieciami bayesowskimi*. Zwrócono również uwagę na znaną od dawna koncepcję *tablicy ogłoszeń*.

### 2.2.1. Systemy doradcze

Szczególne miejsce wśród systemów wspomagających podejmowanie decyzji zajmują systemy doradcze, nazywane również systemami ekspertowymi. System doradczy powinien posiadać zdolność do rozpoczęcia i kontynuowania procesu wnioskowania oraz zdolność do wykonywania działań związanych z tym procesem, wtedy gdy zezwala na to lub wymaga tego użytkownik systemu. Charakterystyczną cechą tych systemów jest możliwość budowania oprogramowania niezależnego od dziedziny zastosowań i występującego w postaci tzw. systemów szkieletowych, zawierających moduły umożliwiające działanie systemu, komunikację ze źródłami danych i dialog z użytkownikiem, w tym objaśnianie wyników działania. W celu uzyskania kompletnego systemu doradczego system szkieletowy uzupełniany jest o bazę wiedzy zawierającą odpowiednio zapisany fragment wiedzy rozpatrywanej dziedziny.

Jednym z najważniejszych elementów systemów doradczych jest układ objaśniający przeznaczony do udostępniania użytkownikowi systemu wszelkich objaśnień, które pozwolą mu na uznanie, iż wnioski proponowane przez system są poprawne. Konieczność stosowania objaśnień wynika między innymi stąd, że system doradczy powinien dysponować bazą wiedzy, której zakres może znacznie wykraczać poza wiedzę posiadaną przez użytkownika co powoduje, że bezpośrednia weryfikacja przez użytkownika wyników działania systemu może być utrudniona lub niemożliwa.

Wiedza zapisana w systemie doradczym może obejmować zarówno wiedzę deklaratywną, zawierającą orzeczenia o uznanych faktach, jak i wiedzę proceduralną dotyczącą działania obiektów i ogólnych sposobów postępowania. Wiedza ta może być pozyskiwana z różnych źródeł [2.23], [2.24]. Szczególnie ważnymi źródłami wiedzy diagnostycznej są specjaliści danej dziedziny i ich publikacje, eksploatacyjne bazy danych oraz wyniki badań symulacyjnych. Niestety dostępne obecnie metody pozyskiwania wiedzy nie zapewniają jeszcze odpowiedniej efektywności bezpośredniego pozyskiwania wiedzy od specjalistów.

Rozpatrywane mogą być dwie kategorie systemów doradczych [2.5]. Są to systemy statyczne, działające w stałym otoczeniu oraz systemy dynamiczne, działające w zmieniającym się otoczeniu i przystosowane do realizowania zadań w ograniczonym czasie.

Charakterystyczną cechą systemów doradczych jest to, że sekwencja działań pozwalających na wyznaczanie wniosków nie jest ustalana (programowana) w czasie konstruowania systemu. Kolejne



działania są ustalane dynamicznie przez układ wnioskujący systemu, z uwzględnieniem jego aktualnego stanu.

Podstawową klasą systemów doradczych są systemy prowadzące wnioskowanie zgodnie z zasadami logiki klasycznej. W systemach tych baza wiedzy składa się z reguł zapisywanych w postaci

$$\text{jeżeli przesłanka to konkluzja} \quad (2.1)$$

gdzie *przesłanka* jest wyrażeniem logicznym.

Reguły takie mogą tworzyć łańcuchy, w których konkluzja wybranej reguły jest jednocześnie przesłanką reguły następującej po niej. Przyjęcie, iż przesłanka pierwszej reguły w łańcuchu może być uznana jako prawdziwa, pozwala na przyjęcie, że konkluzja tej reguły, czyli równocześnie przesłanka następnej reguły, jest prawdziwa. Pozwala to następnie na tzw. wnioskowanie w przód, tzn. na uznawanie, że konkluzje kolejnych reguł są prawdziwe. Podobnie przyjęcie, że konkluzja ostatniej reguły w łańcuchu nie może być uznana jako prawdziwa (tzn. jest fałszywa) pozwala na tzw. wnioskowanie wstecz, czyli na uznawanie, że przesłanki poprzedzających reguł nie są prawdziwe. Zbiory reguł mogą tworzyć struktury inne niż łańcuchy, zwłaszcza wtedy gdy występują w nich przesłanki złożone. Wnioskowanie w takich zbiorach reguł jest prowadzone przez moduły wnioskujące zawarte w systemach szkieletowych.

Literatura omawiająca zagadnienia związane z konstruowaniem i stosowaniem systemów doradczych jest bardzo obszerna. W języku polskim wydano między innymi następujące przeglądowe prace zwarte [2.1], [2.5], [2.9], [2.10], [2.11], [2.17], [2.21], [2.22], [2.25], [2.27], [2.29].

### 2.2.2. Zmienne otoczenie

Systemy doradcze są przeznaczone do działania w określonym otoczeniu. Większość stosowanych obecnie systemów to systemy statyczne, a dokładniej systemy przeznaczone do działania w statycznym otoczeniu. Użyte określenie „otoczenie statyczne” nie oznacza, że otoczenie systemu jest niezmiennie. Wskazuje ono jedynie, że dla potrzeb działającego w nim systemu uwzględniany jest statyczny stan tego otoczenia, aktualny w chwili obserwacji. Równocześnie wiadomo, że zarówno diagnostyka maszyn jak i diagnostyka procesów wymagają uwzględniania informacji o charakterze zmian obserwowanych wielkości fizycznych, związanych z działaniem obserwowanej maszyny lub przebiegiem obserwowanego procesu.

W celu opisanego dynamiki zmian otoczenia stosowanych jest szereg, wprowadzanych ad hoc, rozwiązań. Jednym z najczęściej stosowanych sposobów jest uzupełnianie zbiorów cech uwzględnianych sygnałów o pochodne pierwszego i wyższych rzędów tych sygnałów. Wartości pochodnych są nośnikami informacji o zachodzących zmianach. Wprowadzenie takich dodatkowych cech sygnałów pozwala na opisywanie otoczenia dynamicznego z zastosowaniem metod przeznaczonych głównie do opisywania otoczenia statycznego. Brak jest jednak uniwersalnych metod postępowania umożliwiających reprezentowanie otoczenia zmieniającego się w czasie. Ciekawy przegląd związanych z tym zagadnień zamieszczono w [2.13].

Omawiając systemy, w których wiedza reprezentowana jest za pomocą reguł, należy zwrócić uwagę na to, że systemy te umożliwiają realizowanie wnioskowania monotonicznego. Charakteryzuje się ono tym, że uznanie nowych przesłanek, których wartości logiczne nie były wcześniej znane, nie może prowadzić do zmiany wartości logicznych uznanych dotychczas konkluzji, tzn. nie może wpływać na zmianę uzyskanych już wyników procesu wnioskowania. Własność ta jest szczególnie niedogodna w systemach diagnostycznych, ponieważ wynikiem działania takich systemów mają być wnioski o stanie rozpatrywanego obiektu, który może ulegać zmianie.

W celu uniknięcia ograniczeń wynikających ze stosowania wnioskowania monotonicznego można prowadzić wnioskowanie częściowo niemonotoniczne, zapewniające racjonalne wyznaczanie konkluzji w zmieniających się warunkach zewnętrznych i realizowane jako szereg niezależnych procesów wnioskowania monotonicznego. Procesy te uruchamiane są dla obiektu rozpatrywanego jako obiekt „zamrażany” w kolejnych dyskretnych chwilach czasu. Wynikiem tych procesów są szeregi niezależnie

wyznaczonych konkluzji. W każdym z takich szeregów wartości logiczne uznanych konkluzji mogą się zmieniać.

### 2.2.3. Przybliżone systemy doradcze

Założenie, iż w bazie wiedzy systemu doradczego występują wyłącznie reguły dokładne, zapisywane w postaci (2.1), jest często nadmiernym ograniczeniem. Źródłem wiedzy mogą być bowiem nie tylko dokładnie znane prawa i fakty. Wiedza rozpatrywanej dziedziny może być udostępniana również w postaci niedokładnych opinii specjalistów, niepewnych wyników obserwacji obiektu lub przybliżonych modeli. Zastosowanie takiej wiedzy wymaga użycia przybliżonych metod wnioskowania [2.4], które charakteryzują się stosowaniem przybliżonych/niepewnych reguł, przesłanek i konkluzji. Nie opracowano ogólnej metody reprezentowania takich elementów przybliżonych.

Stosowane są dwie klasy przybliżonych metod wnioskowania. Pierwsza klasa, która nie będzie rozpatrywana w dalszej części opracowania, obejmuje metody związane ze stosowaniem koncepcji zbiorów i relacji rozmytych [2.19], [2.26], [2.30]. Druga klasa obejmuje metody polegające na stosowaniu różnych kategorii stopni pewności lub stopni prawdziwości elementów występujących w postaci przesłanek, konkluzji oraz reguł.

Bardzo ważnym i trudnym zadaniem jest ustalenie właściwej interpretacji stosowanych miar (stopni pewności). Miary te mogą być interpretowane jako prawdopodobieństwa zdarzeń polegających na tym, że odpowiedni element jest prawdziwy lub jako stopnie prawdziwości tych elementów. Wprowadzenie prawdopodobieństw pozwala na stosowanie statystycznych metod weryfikacji hipotez. Wymaga to jednak przyjęcia licznych założeń, dla których możliwości weryfikacji ich słuszności są często bardzo ograniczone. Jest to przyczyną rezygnowania ze stosowania prawdopodobieństw definiowanych na podstawie częstości zdarzeń i zastępowania ich prawdopodobieństwami o wartościach ustalanych subiektywnie. Przyjmowane zasady wykonywania działań na stopniach pewności mogą być przyczyną wielu intuicyjnych wątpliwości. Główna wątpliwość związana jest z częstym utożsamianiem wartości logicznej stwierdzenia (prawda, fałsz) z jego stopniem pewności. Liczne wątpliwości związane są również z przyjmowanymi modelami propagacji niepewności i niedokładności w układzie wnioskującym.

### 2.2.4. Sieci przekonań

Przybliżone systemy doradcze umożliwiają stosowanie przybliżonych i/lub niepewnych reguł, przesłanek oraz konkluzji. Stopnie prawdziwości/pewności reguł i przesłanek wyznaczone są najczęściej na podstawie subiektywnych opinii specjalistów rozpatrywanej dziedziny i konstruktorów systemu. Wynikiem badań weryfikacyjnych mogą być zalecenia dotyczące niezbędnych modyfikacji tak ustalonych wartości stopni prawdziwości. Proces modyfikowania tych wartości nazywany jest procesem strojenia systemu. Wadą systemów doradczych bazujących na zbiorach reguł są trudności praktycznej realizacji takiego strojenia, zwłaszcza wtedy gdy uwzględniany jest liczny zbiór reguł. Trudności te występują w mniejszym stopniu w systemach, w których bazy wiedzy reprezentowane są w postaci grafów.

Stosowanie grafów jako modelu pozwalającego na reprezentowanie wiedzy ma długą historię, np. [2.31]. Do ważniejszych koncepcji szczegółowych należy zaliczyć sieci Markowa [2.16], [2.20], rozpatrywane często w postaci tzw. tablic kontyngencji oraz sieci bayesowskie [2.28], [2.2], [2.15], nazywane również sieciami przekonań. Sieci przekonań spotykają się z coraz większym uznaniem, jako skuteczne narzędzia, przydatne do wnioskowania przybliżonego.

Sieć Markowa jest grafem nieskierowanym, w którym każdej gałęzi przypisane jest symetryczne prawdopodobieństwo współwystępowania wskazanych stanów węzłów łączonych przez tą gałąź. Sieć ta nie pozwala na bezpośrednie reprezentowanie wiedzy dotyczącej zależności przyczynowo-skutkowych nawet wtedy, gdy zależności takie występują pomiędzy węzłami.

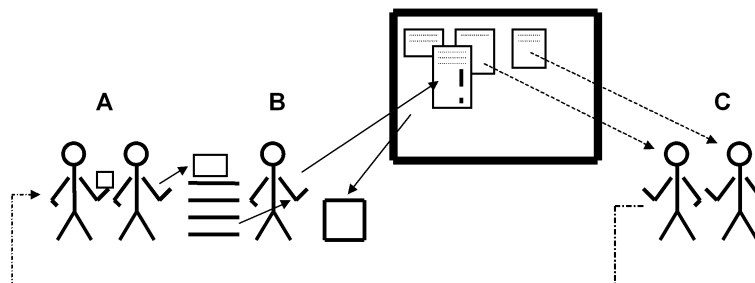
Sieć przekonań jest acyklicznym (nie zawierającym cykli) grafem skierowanym, składającym się z węzłów i łączących je gałęzi skierowanych. Węzłom przypisywane są kompletne (wyczerpujące) zestawy wykluczających się stanów oraz wektory wartości węzłów, określające rozkłady ich stanów reprezentowane przez wartości prawdopodobieństw interpretowanych jako stopnie przekonania o tym,

że węzeł znajduje się w określonym stanie. Węzłom przyporządkowane są również tablice zawierające wartości prawdopodobieństw warunkowych dla wszystkich elementów iloczynu kartezyjskiego zestawów stanów węzłów nadrzędnych i węzła, któremu przyporządkowano tablicę. Tablice prawdopodobieństw warunkowych opisują relacje występujące między węzłami. Nie zakłada się, że są to relacje przyczynowo-skutkowe.

Wnioskowanie z zastosowaniem sieci przekonań, posiadającej kompletne tablice prawdopodobieństw warunkowych, polega na uzgadnianiu prawdopodobieństw przypisanych kolejnym węzłom, w celu wyznaczenia stanu równowagi sieci, w którym spełnione jest twierdzenie Bayesa o prawdopodobieństwach warunkowych. Próby poszukiwania rozwiązań globalnych mogą prowadzić do zadań NP-trudnych. Skutecznym sposobem postępowania jest identyfikowanie węzłów warunkowo niezależnych, a następnie ograniczanie zakresu zadania i poszukiwanie rozwiązań lokalnych obejmujących kolejne węzły, ich rodziców i dzieci. Ciekawymi pracami omawiającymi sposoby formułowania i rozwiązywania takich zadań są [2.28], [2.18].

### 2.2.5. Tablice ogłoszeń

W rozwoju sztucznej inteligencji wyjątkową rolę spełniły systemy bazujące na koncepcji tablicy ogłoszeń. Tablica taka jest miejscem udostępniania ogłoszeń (komunikatów, wiadomości) dla ich odbiorców (rys. 2.1). Źródłami komunikatów i ich odbiorcami mogą być użytkownicy systemu stosującego tablicę ogłoszeń lub inne systemy. Komunikaty dostarczane są przez źródła komunikatów do administratora tablicy. Administrator decyduje o umieszczaniu nowych ogłoszeń na tablicy i o usuwaniu z tablicy ogłoszeń nieaktualnych. Odbiorcy ogłoszeń obserwują tablicę i w odpowiedzi na zmianę jej stanu mogą wykonywać ustalone działania, w tym mogą kierować odpowiednie nowe komunikaty do administratora tablicy.



Rys. 2.1: Model tablicy ogłoszeń: A - dostawcy, C - odbiorcy ogłoszeń, B - administrator tablicy

Koncepcja tablicy ogłoszeń, w której ogłoszenia określane były jako źródła wiedzy lub demony, została wprowadzona w systemach przeznaczonych do interpretowania mowy [2.12] i jest nadal rozwijana [2.14].

Znanych jest wiele sposobów praktycznej realizacji tablic ogłoszeń. Tablice te mogą być budowane jako hierarchicznie uporządkowane bazy danych, przeznaczone do przechowywania rozwiązań generowanych przez autonomiczne moduły, uprawnione do użytkowania (stosowania) różnych technik wnioskowania w celu efektywnego osiągnięcia najlepszych rozwiązań [2.3].

## 2.3. Sieci stwierżeń

W podrozdziale tym wprowadzono pojęcia *stwierdzenie* oraz *stwierdzenie wielowariantowe*. Pokazano możliwość rozpatrywania sieci stwierżeń, w której wyróżniane są *stwierdzenia pierwotne* oraz *stwierdzenia wtórne* i w której mogą być uwzględniane przybliżone warunki konieczne i dostateczne. Zaproponowano sposób oceniania wewnętrznej sprzeczności, w tym sprzeczności warunkowej, bazy wiedzy zapisanej w postaci sieci stwierżeń. Wskazano możliwość sterowania zakresem i stopniem

szczegółowości procesu pozyskiwania wiedzy poprzez stosowanie lokalnych i wielowarstwowych sieci stwierdzeń zastępujących sieci globalne. Stosując analogię mechaniczną wprowadzono *bezwładności stwierdzeń*, pozwalające na budowanie sieci *stwierdzeń dynamicznych*.

### 2.3.1. Fakty i stwierdzenia

Diagnostyczne systemy doradcze mają wspomagać rozpoznawanie stanu technicznego na podstawie dostępnych informacji o rozpatrywanym obiekcie i jego działaniu. Informacje takie mogą być przekazywane w postaci różnych wypowiedzi opisujących obserwowane zdarzenia, procesy i prawidłowości oraz związane z nimi przekonania i domysły.

Dla potrzeb omawianych systemów informacje te zapisywane są w postaci zdań logicznych, czyli zdań oznajmujących przyjmujących różne wartości logiczne - np. takie jak: prawda, fałsz, stopień możliwości, konieczności, przekonania o słuszności.

W systemach bazujących na klasycznym wnioskowaniu logicznym zdania takie reprezentowane są w postaci zmiennych logicznych, którym przypisano odpowiednią interpretację. Wnioskowanie w takich systemach polega na przechodzeniu od znanych przesłanek do wniosków i może być realizowane jako wnioskowanie dedukcyjne lub redukcyjne, w zależności od tego czy między przesłankami i wnioskiem zachodzi stosunek wynikania logicznego. Schematy wnioskowania logicznego mogą być modyfikowane i rozszerzane, umożliwiając np. wnioskowanie niepewne i niedokładne. Większość związanych z tym prac zwraca szczególną uwagę na formalną stronę procesu wnioskowania zakładając, że interpretacja stosowanych zmiennych nie wymaga szczególnych działań.

Z prac związanych z próbami praktycznego zastosowania różnych wersji systemów doradczych wynika jednak, że zagadnienie odpowiedniej interpretacji stosowanych zmiennych, czyli przypisywania im właściwego znaczenia, wymaga szczególnej uwagi. Założenie, że konstruktorzy systemu doradczego, autorzy jego bazy wiedzy oraz przyszli użytkownicy tego systemu posługują się wspólnymi zasobami pojęć oraz takimi samymi zasadami konwersacji, regulującymi komunikację między nimi, jest często bezpodstawne i prowadzić może do niezamierzonych skutków. Informacje przekazywane jako wynik działania systemu mogą być niezrozumiałe lub niejasne dla jego użytkowników.

Omawiając sprawy dotyczące interpretacji należy uwzględnić specyficzną rolę, jaką pełnią omawiane systemy. Są to systemy doradcze, czyli systemy wspomagające podejmowanie decyzji, gdzie ostateczną decyzję podejmuje użytkownik systemu. Podejmując tę decyzję korzysta on pośrednio z wiedzy zgromadzonej w bazie wiedzy systemu. Można postawić w tym miejscu pytanie, kto odpowiada za końcowy wynik działań, czyli za podjętą decyzję - użytkownik, autorzy bazy wiedzy czy konstruktorzy systemu. Ze zgodnych opinii wielu prawników wynika, że pełną odpowiedzialność ponosi użytkownik systemu. Uznając brak możliwości weryfikacji bazy wiedzy przez użytkownika należy przyjąć, że w celu przejęcia przez niego odpowiedzialności, system powinien przekonać użytkownika o słuszności proponowanego rozwiązania. W systemach doradczych stosowane są w tym celu funkcje objaśniające przebieg procesu wnioskowania.

Należy zwrócić uwagę na możliwość stosowania stwierdzeń ułatwiających komunikację z użytkownikiem systemu. Stwierdzenia mogą być interpretowane jako obiekty pełniące rolę zdań logicznych, zawierające jednocześnie opis ich interpretacji, występujący w postaci dowolnie rozbudowanej wypowiedzi lub opinii na określony temat. Stosowanie stwierdzeń jest postępowaniem szczególnie dogodnym dla systemów przeznaczonych do wspomagania diagnostyki technicznej, wymagającej między innymi rozwiązywania zadań związanych z jednoznaczny interpretowaniem wartości danych i ich zmian.

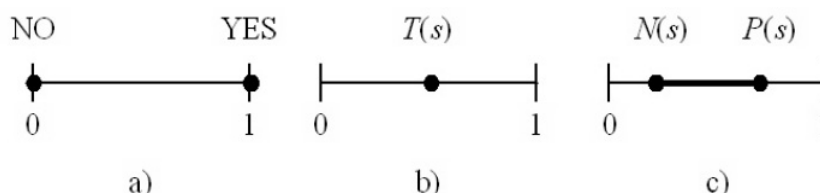
Stwierdzenie jest informacją o uznaniu wypowiedzi orzekającej o obserwowanych faktach lub reprezentującej określoną opinię. Stwierdzenie  $s$  może być zapisywane w postaci następującej pary

$$s = \langle c, b \rangle \quad (2.2)$$

gdzie  $c$  jest treścią stwierdzenia, czyli np. wypowiedzią o tym, że wskazanemu obiektowi przysługuje określony atrybut o ustalonej wartości oraz  $b$  jest dokładną lub przybliżoną wartością stwierdzenia definiowaną jako:

- wartość logiczna zdania będącego treścią  $c$  stwierdzenia (rys. 2.2a),
- wartość stopnia prawdziwości lub stopnia przekonania o prawdziwości wypowiedzi będącej treścią  $c$  stwierdzenia (rys. 2.2b),
- przedział wartości stopnia prawdziwości lub stopnia przekonania o prawdziwości wypowiedzi będącej treścią  $c$  stwierdzenia (rys. 2.2c).

Omawiane dalej stwierdzenia są stwierdzeniami przybliżonymi, dla których zbiór dopuszczalnych wartości stwierdzeń nie jest ograniczany do dwóch elementów {prawda, fałsz}.



Rys. 2.2: Przykłady wartości stwierdzeń

Zakłada się, że treść stwierdzenia jest stała, a wartość stwierdzenia może się zmieniać. Stosując stwierdzenia należy zwracać uwagę na wyraźne rozróżnianie obiektywnych faktów i wypowiedzi o występujących faktach. Stwierdzenia bardzo często, w sposób błędny, są utożsamiane z faktami.

Definicja (2.2) określająca stwierdzenia proste może być rozszerzona do postaci (2.3) określającej stwierdzenia wielowariantowe

$$s = \langle {}^n c, {}^n b \rangle \quad (2.3)$$

gdzie  ${}^n c$  jest  $n$ -elementową listą wariantów treści stwierdzenia, a  ${}^n b$  jest  $n$ -elementowym wektorem wartości logicznych kolejnych wariantów treści stwierdzenia. Najczęściej zakłada się, że warianty treści stwierdzenia są wariantami wzajemnie wykluczającymi się. Przykładem stwierdzenia wielowariantowego, o klasycznych wartościach logicznych i liczbie wariantów  $n = 3$ , jest

$$s = \langle \text{„kartka ma kolor: biały | czarny | inny niż biały lub czarny”}, [0; 1; 0] \rangle \quad (2.4)$$

Stwierdzenia wielowariantowe nie będą rozpatrywane w dalszej części tego rozdziału, ze względu na jego ograniczoną objętość. Stwierdzenia takie mogą być zastępowane odpowiednimi zbiorami stwierdzeń prostych wg (2.2), co nie jest jednak postępowaniem w pełni racjonalnym.

Zastosowanie stwierdzeń nie wprowadza bezpośrednio istotnych zmian w organizacji i przebiegu procesu wnioskowania. Pozwalają one jednak na wprowadzenie złożonego systemu pomocy, zawierającego objaśnienia pojęć, odsyłacze do źródeł i różne komentarze.

### 2.3.2. Stwierdzenia pierwotne, wtórne i wynikowe

W procesie wnioskowania, prowadzonym w systemie doradczym na podstawie wartości logicznych przesłanek, przyjmuje się lub odrzuca konkluzje. Rozpatrywany zbiór przesłanek i konkluzji jest zbiorem zamkniętym, ustalonym w czasie budowania bazy wiedzy. Podczas działania systemu nie są generowane lub odkrywane nowe konkluzje. Oznacza to, że procesy wnioskowania prowadzone w systemach doradczych są procesami realizowanymi w tzw. zamkniętych światach. W każdym systemie wszystkie przesłanki i konkluzje występujące w takich procesach mogą być zastąpione skończonym zbiorem stwierdzeń. Wartości stwierdzeń mogą być interpretowane jako wartości logiczne zastępowanych przez te stwierdzenia przesłanek i konkluzji.

Rozwijając wyjściową koncepcję tablicy ogłoszeń [2.12] można przyjąć, że występujące na niej ogłoszenia zostaną zastąpione przez stwierdzenia tworzące sieć stwierdzeń przybliżonych (rys. 2.3). Zmiany wartości stwierdzeń będą mogły inicjować ciągi działań powodujących zmiany wartości innych stwierdzeń, umożliwiające realizowanie procesu wnioskowania. Stosowane mogą być różne sposoby

wnioskowania. Sieci stwierdzeń przybliżonych mogą być na przykład rozpatrywane jako szczególne wersje sieci przekonań, co pozwala na zastosowanie metod wnioskowania opracowanych dla sieci przekonań.

Rozpatrywane stwierdzenia będą należały do klasy stwierdzeń pierwotnych  $S_p$  lub wtórnych  $S_s$ . *Stwierdzenia pierwotne* posiadają wartości, które nie zależą (jawnie) od wartości innych stwierdzeń i są zadawane bezpośrednio przez procesy zewnętrzne (np. działające układy pomiarowe lub dialog z użytkownikiem systemu). *Stwierdzenia wtórne* posiadają wartości, które zależą (jawnie) od wartości innych stwierdzeń występujących w sieci i nie są zadawane bezpośrednio przez procesy zewnętrzne. Należy zwrócić uwagę, że uznanie iż wartości jednych stwierdzeń zależą od wartości innych stwierdzeń nie oznacza, że zależności te są związkami przyczynowo-skutkowymi. Część stwierdzeń wtórnych może występować w postaci *stwierdzeń ukrytych*, pełniących rolę wniosków pośrednich, niedostępnych (tzn. niewidocznych) dla użytkowników systemu. Stwierdzenia wtórne mogą być stosowane między innymi jako *stwierdzenia pomocnicze* do reprezentowania wyrażen złożonych z innych stwierdzeń.

Danymi wejściowymi w procesie wnioskowania w sieciach stwierdzeń są zbiory  $B_p$  wartości stwierdzeń pierwotnych należących do zbiorów stwierdzeń pierwotnych  $S_p$

$$B_p = \{b(x) : x \in S_p\} \quad (2.5)$$

Celem procesu wnioskowania jest wyznaczenie zbioru  $B_s$  wartości wszystkich lub wybranych stwierdzeń wtórnych należących do zbioru stwierdzeń wtórnych  $S_s$

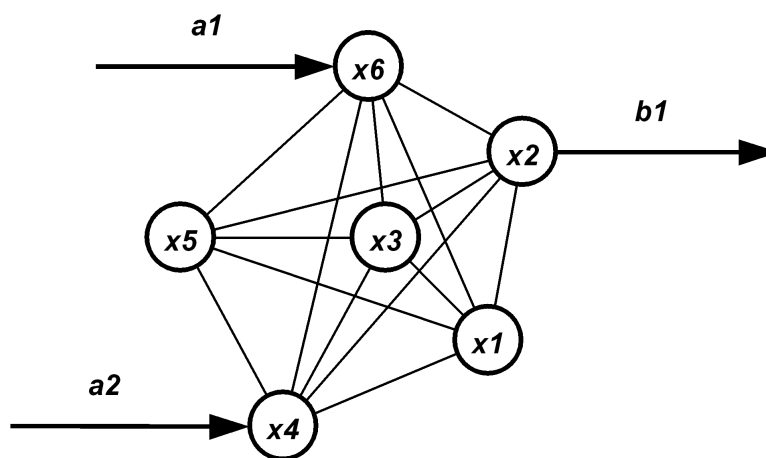
$$B_s = \{b(x) : x \in S_s\} \quad (2.6)$$

Wynik procesu wnioskowania przedstawiany jest w postaci zbioru  $B_o$  wartości wybranych stwierdzeń należących do zbioru *stwierdzeń wynikowych*  $S_o$

$$B_o = \{b(x) : x \in S_o\} \quad (2.7)$$

Zbiór stwierdzeń wynikowych  $S_o$  ustalany jest z uwzględnieniem potrzeb i oczekiwań użytkownika systemu. Jest on zawarty w zbiorze wszystkich rozpatrywanych stwierdzeń  $S$ . Może on zawierać zarówno stwierdzenia pierwotne jak i wtórne

$$S_o \subset S = S_p \cup S_s \quad (2.8)$$



Rys. 2.3: Przykład sieci stwierdzeń, gdzie: zbiór stwierdzeń pierwotnych  $S_p = \{x_4, x_6\}$ , zbiór stwierdzeń wtórnych  $S_s = \{x_1, x_2, x_3, x_5\}$  i zbiór stwierdzeń wynikowych  $S_o = \{x_2\}$

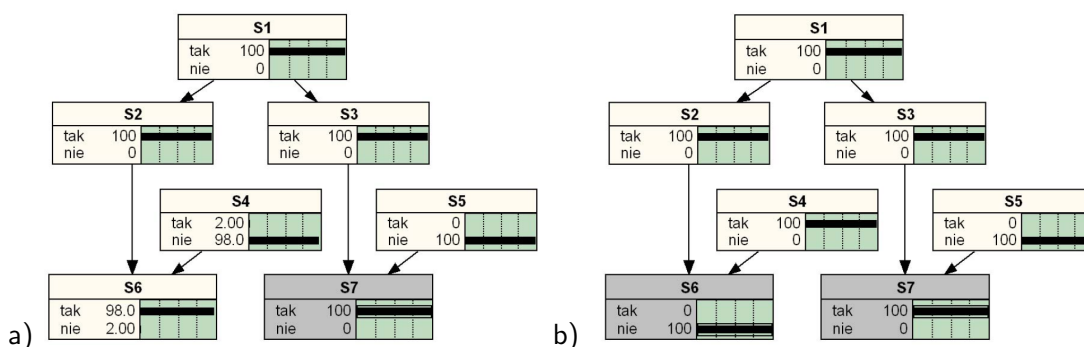
Podział zbioru stwierdzeń na stwierdzenia pierwotne i wtórne nie jest podziałem stałym. Zależy on od informacji dostępnych aktualnie ze źródeł zewnętrznych (układy pomiarowe, odpowiedzi

użytkownika itp.). Np. na rys. 2.4 przedstawiono przykład bardzo prostej sieci stwierdzeń dotyczących czajnika elektrycznego. Pokazano wartości stopni przekonania [%] o słuszności stwierdzeń o następującej treści:

- S1** Czajnik jest włączony,
- S2** Grzałka jest zasilana,
- S3** Lampka kontrolna jest zasilana,
- S4** Grzałka jest uszkodzona,
- S5** Lampka kontrolna jest uszkodzona,
- S6** Czajnik grzeje wodę,
- S7** Lampka kontrolna świeci.

Przyjęto domyślne wartości stwierdzeń  $b(\mathbf{S4})=2\%$  oraz  $b(\mathbf{S5})=1\%$ .

W pierwszej wersji tej sieci jedynym stwierdzeniem pierwotnym jest **S7=Lampka kontrolna świeci**. Pozostałe stwierdzenia są stwierdzeniami wtórnymi, ponieważ brak innych informacji o rozpatrywanym czajniku. W drugiej wersji dodatkowym stwierdzeniem pierwotnym jest **S6=Czajnik grzeje wodę**. Dodatkowa informacja o rozpatrywanym czajniku powoduje zmianę zbioru stwierdzeń pierwotnych i pociąga za sobą zmianę zbioru stwierdzeń wtórnych oraz ich wartości (np. zmiana wartości stwierdzenia **S4=Grzałka jest uszkodzona**). Należy zwrócić uwagę, że sieć stwierdzeń pokazana na rys. 2.4 pozwala na stosowanie domyślnych wartości wybranych stwierdzeń, które są przyjmowane jako wynik procesu wnioskowania wtedy, gdy z dostępnych danych i z wiedzy zapisanej w sieci wynika jedynie to, iż wartości tych stwierdzeń są nieznanne.



Rys. 2.4: Przykład sieci stwierdzeń (występującej w postaci sieci przekonań) z różnymi zbiorami stwierdzeń pierwotnych i wtórnych; a)  $B_p=\{\mathbf{S7}\}$ ,  $B_s=\{\mathbf{S1}, \dots, \mathbf{S6}\}$ , b)  $B_p=\{\mathbf{S6}, \mathbf{S7}\}$ ,  $B_s=\{\mathbf{S1}, \dots, \mathbf{S5}\}$

Ze względu na potrzebę uwzględnienia zależności występujących pomiędzy stwierdzeniami, wnioskowanie w sieci stwierdzeń rozpatrywane jest najczęściej jako zadanie poszukiwania równowagi w tej sieci, dla zadanego zbioru wartości stwierdzeń pierwotnych.

### 2.3.3. Przybliżone warunki konieczne i dostateczne

Sieci stwierdzeń mogą być rozpatrywane jako szczególna wersja baz wiedzy systemów doradczych, w których występujące reguły zostają zastąpione przez dwie klasy warunków: warunki konieczne oraz warunki dostateczne (wystarczające).

Jeżeli uznaniu prawdziwości stwierdzenia  $x$  towarzyszy zawsze uznanie prawdziwości stwierdzenia  $y$ , lecz niekoniecznie odwrotnie, to  $x$  określane jest jako warunek dostateczny dla  $y$ . Jednocześnie  $y$  jest określane jako warunek konieczny dla  $x$ . Jeżeli  $x$  jest równocześnie warunkiem koniecznym i dostatecznym dla  $y$ , to także  $y$  będzie warunkiem koniecznym i dostatecznym dla  $x$ .

Podane definicje warunków dostatecznych i koniecznych dotyczą stwierdzeń dokładnych czyli takich, które są jednoznacznie uznane lub nieznane. Dla stwierdzeń przybliżonych, które mogą być

uznane jedynie częściowo, czyli dla stwierdzeń  $x$  i  $y$  o wartościach  $b(x)$  i  $b(y)$  interpretowanych jako stopnie prawdziwości

$$b(x) \in [0; 1] \quad b(y) \in [0; 1] \quad (2.9)$$

informację o tym, że  $x$  jest warunkiem dostatecznym dla  $y$  lub, że  $y$  jest warunkiem koniecznym dla  $x$  możemy zapisywać [2.5]

$$b(y) \geq b(x) \quad (2.10)$$

Warunki konieczne i dostateczne określane dla stwierdzeń dokładnych, czyli takich dla których  $b(\cdot) \in \{0; 1\}$ , są szczególnym przypadkiem warunków określanych dla stwierdzeń przybliżonych o wartościach określanych zgodnie z (2.9).

Uwzględniając potrzebę stosowania reguły przybliżonych interpretowanych tak, że są one w przybliżeniu warunkami koniecznymi i dostatecznymi, czyli warunkami koniecznymi i dostatecznymi spełnianymi z jakąś (niewielką) niedokładnością, można przekształcić warunek (2.10) do postaci przybliżonej

$$b(y) \geq b(x) - \delta; \quad \delta \geq 0 \quad (2.11)$$

gdzie  $\delta$  jest wspólną dla wszystkich rozpatrywanych warunków, graniczną nieujemną wartością parametru, określającego dopuszczalny stopień przybliżenia (niedokładności) warunku. Dla warunków dokładnych należy przyjmować  $\delta = 0$ .

#### 2.3.4. Formalna poprawność baz wiedzy

Powszechnie akceptowanym warunkiem jest wymaganie, aby bazy wiedzy systemów doradczych zawierały wyłącznie elementy niesprzeczne. Formalna poprawność baz wiedzy powinna być przedmiotem weryfikacji w czasie budowania i eksploatacji systemu.

Wykrywanie reguł sprzecznych, w bazach wiedzy stosujących reguły, jest zadaniem prostym wtedy gdy rozpatrywane są systemy doradcze stosujące dokładne przesłanki i dokładne reguły. Niestety, jest to zadanie trudne dla przybliżonych systemów doradczych. W celu jego uproszczenia zakłada się, że ewentualne reguły sprzeczne mogą być wykrywane w czasie działania systemu dla ustalonego przypadku, czyli dla znanego zbioru uznanych przesłanek. Dla omawianych przybliżonych warunków koniecznych i dostatecznych można zastosować postępowanie podobne. Polega ono na poszukiwaniu minimalnej wartości parametru  $\delta$  w (2.11), zapewniającej spełnienie wszystkich rozpatrywanych warunków koniecznych i dostatecznych.

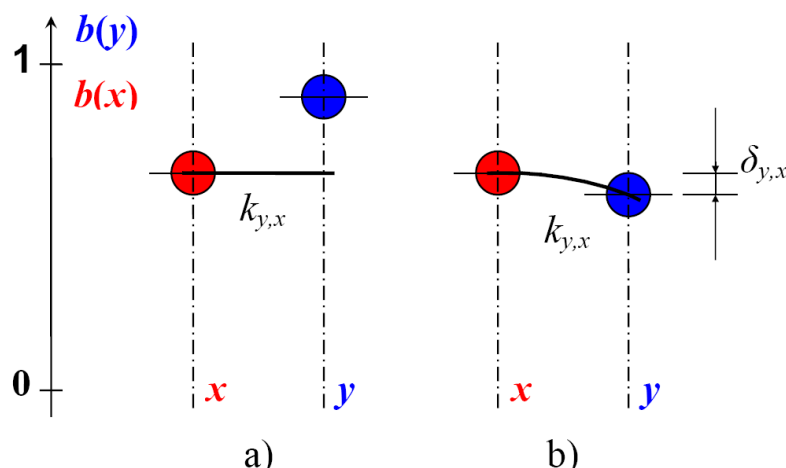
Poszukiwanie takiej wartości  $\delta$  wymaga rozwiązania zadania programowania liniowego. Dla rozpatrywanego przypadku wyznaczona minimalna wartość parametru  $\delta$  może być interpretowana jako ocena stopnia sprzeczności uwzględnianego zbioru warunków przybliżonych, czyli ocena stopnia sprzeczności występujących pomiędzy elementami bazy wiedzy. Dla zbioru warunków niesprzecznych omawiany stopień sprzeczności będzie miał wartość  $\delta = 0$ .

#### 2.3.5. Model sieci stwierdzeń - analogia mechaniczna

W celu rozwinięcia omawianych metod wnioskowania w sieciach stwierdzeń, rozpatrujemy model będący analogią mechaniczną tych sieci. Przyjmijmy, że stwierdzenia będące elementami sieci stwierdzeń, reprezentowane są przez punkty materialne, które mogą się przemieszczać. Punkty te można przedstawiać graficznie jak na rys. 2.5 zakładając np., że mogą się one przemieszczać wyłącznie w kierunku pionowym, podczas gdy ich odległości w kierunku poziomym są zerowe. Na rys. 2.5 punkty te pokazano jako „rozsunięte” w kierunku poziomym, wyłącznie w celu umożliwienia ich porównywania i niezależnego obserwowania każdego z nich.

Wysokość, na której zlokalizowano każdy z tych punktów, odpowiada wartości stwierdzenia  $b(\cdot)$  i należy do przedziału  $[0, 1]$ . Stwierdzenia w pełni uznane za prawdziwe reprezentowane są przez punkty położone na wysokości  $b(\cdot)$  równej 1. Stwierdzenia uznane za fałszywe reprezentowane są przez punkty położone na wysokości równej 0. Warunki konieczne i dostateczne, będące uogólnieniem





Rys. 2.5: Model reprezentujący spełnienie warunku dostatecznego dla pary stwierżeń  $x$  i  $y$ .  
a) warunek dokładny (2.10), b) warunek przybliżony (2.12)

warunku (2.10), reprezentowane są przez więzy jednostronne nałożone na rozpatrywane punkty i odpowiadające nierównościom (2.12)

$$b(y) \geq b(x) - \delta_{y,x}; \quad \delta_{y,x} \geq 0 \quad (2.12)$$

Nierówność (2.12) uzyskano w wyniku modyfikacji nierówności (2.11), polegającej na indywidualizacji parametru  $\delta$  i założeniu, że może on przyjmować różne wartości  $\delta_{y,x}$  dla kolejnych par stwierżeń  $(x, y)$  związanych z omawianymi warunkami. Na rys. 2.5 pokazano element podatny o sztywności  $k_{y,x}$ , który jest odkształcany wtedy, gdy warunek konieczny lub dostateczny (2.10) może być spełniony jedynie jako warunek przybliżony (2.12), częściowo sprzeczny z innymi warunkami, tzn. wtedy gdy  $\delta_{y,x} > 0$ .

Wprowadzone sztywności  $k_{y,x}$  umożliwiają różnicowanie ważności warunków przybliżonych. Można je interpretować jako jednostkowe koszty ewentualnych występujących sprzeczności warunków, gdzie oceną stopnia niezgodności pary stwierżeń z warunkiem (2.12) jest wartość parametru  $\delta_{y,x}$ . Sztywności  $k_{y,x}$  mogą przyjmować równe wartości (np. 1.0), wtedy gdy brak potrzeby różnicowania ważności warunków. Sumaryczny koszt sprzeczności występujących pomiędzy elementami bazy wiedzy może być interpretowany jako energia potencjalna rozpatrywanego zbioru punktów z odkształconymi elementami podatnymi

$$E = \sum_{(x,y)} \delta_{y,x} k_{y,x} \quad (2.13)$$

Wnioskowanie w omawianym modelu sieci stwierżeń polega na poszukiwaniu stanu równowagi, któremu odpowiada minimalna energia potencjalna  $E$  wg (2.13). Zadanie to może być rozpatrywane jako klasyczne zadanie programowania liniowego zapisane w postaci układu nierówności (2.14)

$$\forall (x, y) \in T \quad b(x) - b(y) - \delta_{y,x} \leq 0 \quad (2.14)$$

określających, reprezentujące wiedzę rozpatrywanego systemu, warunki konieczne i dostateczne (2.12) dla zbioru  $T$  wybranych par stwierżeń

$$T \subset \{(x, y) : (x, y) \in (S \times S) \setminus (S_p \times S_p) \wedge x \neq y\} \quad (2.15)$$

W zadaniu tym przyjmuje się warunki dodatkowe dla zbioru  $S_s$  wszystkich stwierżeń wtórnych, w postaci

$$\forall x \in S_s \quad b(x) \leq 1 \quad (2.16)$$

Równocześnie przyjmuje się ograniczenie, iż poszukiwane są wyłącznie wartości dodatnie, czyli

$$\forall x \in S_s \quad b(x) \geq 0 \quad (2.17)$$

$$\forall (x, y) \in T \quad \delta_{y,x} \geq 0 \quad (2.18)$$

W ograniczeniach (2.16) i (2.17) uwzględniane są wyłącznie stwierdzenia wtórne, ponieważ założono, że wartości stwierdzeń pierwotnych ustalono (zadano) poprawnie, tzn. że spełniają one warunek (2.19)

$$\forall x \in S_p \quad 0 \leq b(x) \leq 1 \quad (2.19)$$

W rozpatrywanym zadaniu wnioskowania znane są wartości stwierdzeń pierwotnych (2.5). Wyznaczane są wartości stwierdzeń wtórnych (2.6) oraz parametry  $\delta_{y,x}$  spełniające ograniczenia (2.16), (2.17) i (2.18) oraz minimalizujące energię  $E$  określaną wg (2.13), gdzie koszty jednostkowe  $k_{y,x}$  są znane.

$$E = \sum_{(x,y) \in T} \delta_{y,x} k_{y,x} \rightarrow \min \quad (2.20)$$

Wyznaczone wartości  $b(x)$  stanowią rozwiązanie zadania.

Zastosowanie kryterium (2.20) może prowadzić do rozwiązań, w których kilka parametrów  $\delta_{y,x}$  osiąga „duże” wartości, a pozostałe przyjmują „małe” wartości. Będzie to oznaczać, że warunki (2.12) odpowiadające parametrom o dużych wartościach, zostaną pominięte, a pozostałe zostaną uwzględnione jako warunki dokładne. Można uznać, że rozwiązaniem lepszym będzie takie, w którym zamiast kilku „dużych” wartości parametrów  $\delta_{y,x}$  wystąpi większa liczba tych parametrów, przyjmujących wartości „średnie”, co będzie oznaczać, że uwzględniane są wszystkie warunki, jako warunki przybliżone. Rozwiązanie takie można otrzymać przekształcając zadanie programowania liniowego z kryterium optymalizacyjnym (2.20) w zadanie programowania kwadratowego z kryterium optymalizacyjnym (2.21)

$$E = \sum_{(x,y) \in T} (\delta_{y,x})^2 k_{y,x} \rightarrow \min \quad (2.21)$$

Należy zwrócić uwagę, na charakterystyczne cechy proponowanego sposobu postępowania. Wprowadzenie omawianego modelu (2.12) pozwala na współwystępowanie w jednej bazie wiedzy reguł warunkowo sprzecznych. Określenie ewentualnej sprzeczności jako warunkowej oznacza, że może się ona objawiać wyłącznie dla wybranych stanów sieci stwierdzeń. Zaproponowana funkcja kosztów (2.20) lub (2.21) pozwala na ocenianie stopnia sprzeczności, indywidualnie dla każdego rozwiązania. Należy zwrócić uwagę na to, że oceniana jest sprzeczność warunkowa, która „objawia się” podczas przeprowadzania rozpatrywanego wnioskowania. Oznacza to, że baza wiedzy w której występują warunkowe sprzeczności może nie korzystać przy wyznaczaniu określonych wniosków z występujących w niej elementów sprzecznych, czyli może być postrzegana dla tych wniosków jako baza (warunkowo) niesprzeczna.

Informacja o wartości funkcji kosztów (2.20) lub (2.21) może być pokazywana odbiorcy wyników wnioskowania, w celu przekonania go o poprawności (lub braku poprawności) otrzymanego rozwiązania oraz stosowanej bazy wiedzy. Konstruktorowi bazy wiedzy umożliwia ona pośrednio identyfikację grup warunków sprzecznych.

### 2.3.6. Globalne, lokalne i wielowarstwowe sieci stwierdzeń

Definiowanie sieci stwierdzeń bezpośrednio w postaci jednej sieci globalnej dla pełnego zbioru  $T$  (2.15) rozpatrywanych par stwierdzeń może być zadaniem trudnym ze względu na dużą liczbę uwzględnianych stwierdzeń oraz dużą liczbę niezbędnych do rozpatrzenia warunków koniecznych i dostatecznych zachodzących między tymi stwierdzeniami. Dla uproszczenia procesu zapisywania posiadanej wiedzy w postaci sieci stwierdzeń, proponuje się rezygnację z rozpatrywania jednej sieci globalnej i rozpatrywanie zbioru sieci lokalnych, będących fragmentami sieci globalnej. W tym celu określa się podzbiory rozpatrywanych par stwierdzeń

$$\{T_k \subset T : k = 1, \dots, K\} \quad (2.22)$$

pokrywające zbiór  $T$  tzn. takich, że

$$T_1 \cup \dots \cup T_k \cup \dots \cup T_K = T \quad (2.23)$$

Na podzbiórach  $T_k$  rozpinane są sieci lokalne. Nie zakłada się, że podzbiory te są parami rozłączne. Oznacza to, że tak definiowane sieci lokalne mogą „się nakładać”, a wybrane stwierdzenia mogą występować równocześnie w kilku sieciach lokalnych.

Na podstawie określonego zbioru sieci lokalnych można pośrednio definiować sieć globalną. W tym celu przyjmuje się, że sieci lokalne tworzą kolejne warstwy sieci globalnej, która staje się siecią wielowarstwową. Model takiej sieci określa się poprzez składanie modeli sieci lokalnych. Możliwe są różne strategie składania tych modeli. Mogą one wyrównywać udziały modeli składowych lub udziały stwierdzeń. Najprostsza strategia polega na wprowadzeniu, dla rozpatrywanych modeli lokalnych, zbioru  $W$  nieujemnych wag, które mogą być interpretowane jako stopnie ważności kolejnych sieci lokalnych

$$W = \{w_k : k = 1, \dots, K\} \quad (2.24)$$

Kryterium optymalizacji dla sieci wielowarstwowej rozpatrywanej jako sieć globalna przyjmuje postać

$$E = \sum_{k=1}^K w_k E_k \rightarrow \min \quad (2.25)$$

gdzie  $E_k$  wyznaczone jest odpowiednio do (2.20) lub (2.21) jako

$$E_k = \sum_{(x,y) \in T_k} \delta_{y,x} k_{y,x} \quad (2.26)$$

lub

$$E_k = \sum_{(x,y) \in T_k} (\delta_{y,x})^2 k_{y,x} \quad (2.27)$$

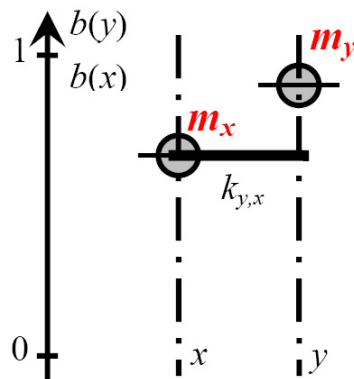
Stosowanie lokalnych i wielowarstwowych sieci stwierdzeń zastępujących sieci globalne umożliwia oddzielne rozpatrywanie wybranych fragmentów sieci, co jest zadaniem prostszym pozwalającym na sterowanie zakresem i stopniem szczegółowości procesu pozyskiwania wiedzy, dla potrzeb budowanego systemu.

### 2.3.7. Sieci stwierdzeń dynamicznych

Wspólną cechą opisanych systemów doradczych, sieci przekonań i sieci stwierdzeń jest to, że systemy te stosują statyczne bazy wiedzy i nie posiadają pamięci umożliwiającej wykorzystanie historii ich działań w procesie wnioskowania. Wynik ich działania wyznaczany jest niezwłocznie, bezpośrednio w odpowiedzi na zmianę danych wejściowych. Wyniki działania takich statycznych sieci przekonań i sieci stwierdzeń nie zależą od kolejności zmian danych wejściowych. Nie odpowiada to w pełni procesom wnioskowania prowadzonym przez człowieka.

Podczas wyciągania wniosków na podstawie zbioru dostępnych stwierdzeń często uwzględniamy nie tylko wartości stwierdzeń, ale również charakter ich zmian i czasokres utrzymywania się tych wartości bez zmian. Należy zauważyć, że często wyciągamy wnioski (uznajemy stwierdzenia) z pewnym opóźnieniem względem chwili, w której poznaliśmy przesłanki. Opóźnienie takie dotyczy również wniosków pośrednich i może wpływać jakościowo na przebieg złożonego procesu wnioskowania, zwłaszcza wtedy gdy dla uwzględnianego zbioru warunków istnieje wiele (kilka) rozwiązań statycznych. Występowanie opóźnień wniosków pośrednich może stwarzać między innymi warunki pozwalające na rozróżnianie stanów technicznych charakteryzujących się identycznymi symptomami w stanach ustalonych i różniącymi się wyłącznie przebiegami czasowymi zmian symptomów w stanach przejściowych. Omawiane opóźnienia pozwalają również na ograniczanie wpływu zakłóceń na wynik procesu wnioskowania.

Podczas budowania systemów stosujących sieci stwierdzeń można wprowadzać układy wstępnego przetwarzania danych, występujące w postaci filtrów dolnoprzepustowych pomiędzy stwierdzeniami pierwotnymi i odpowiadającymi im źródłami danych. Filtry takie umożliwiają uśrednianie danych wejściowych i pozwalają na uzyskanie omawianego opóźnienia. Zastosowanie podobnych filtrów w celu opóźnienia stwierdzeń wtórnych jest jednak zadaniem bardzo trudnym.



Rys. 2.6: Model pary stwierdzeń dynamicznych

W celu uzyskania możliwości wpływania na dynamikę zmian wartości stwierdzeń wtórnych w procesach wnioskowania w sieciach stwierdzeń, wprowadza się pojęcie stwierdzenia dynamicznego. Modelem sieci zawierającej stwierdzenia dynamiczne, czyli modelem sieci stwierdzeń dynamicznych, może być zmodyfikowany model sieci stwierdzeń reprezentowanej przez zbiór warunków (2.12). Modyfikacja tego modelu polega na przypisaniu mas punktom materialnym, reprezentującym stwierdzenia (rys. 2.6). Oznacza to wprowadzenie bezwładności stwierdzeń, decydujących o czasie niezbędnym na dokonanie zmian wartości stwierdzeń wtórnych. Zakłada się, że bezwładność jest taką cechą stwierdzenia, której wartość jest stała. W tak przedstawianej sieci możliwe jest realizowanie procesów wnioskowania, polegających na propagacji zmian wartości stwierdzeń, rozpatrywanych jako przemieszczenia oddziaływujących na siebie punktów materialnych o określonych masach. Stwierdzenia wtórne o dużych bezwładnościach będą zmieniały swoje wartości wolniej, niż stwierdzenia wtórne o małych bezwładnościach. Proponowany model można rozbudowywać dalej, wprowadzając dodatkowe elementy tłumiące. Prowadzi to jednak do znacznego, często nadmiernego, wzrostu stopnia złożoności zadań identyfikacji takich modeli.

## 2.4. Wnioski

Procesy wnioskowania w systemach diagnostycznych wymagają wspomaganie za pomocą systemów bazujących na wiedzy. Szczególne znaczenie, ze względu na możliwości zastosowania, mają systemy doradcze, w których baza wiedzy zorganizowana jest w postaci sieci stwierdzeń. Należy oczekiwać, że ciekawe zastosowania znajdą sieci stwierdzeń dynamicznych, pozwalających na uwzględnianie bezwładności stwierdzeń. Zagadnienia dotyczące metod definiowania oraz stosowania tych sieci wymagają jednak dalszych badań.

## Bibliografia

- [2.1] Bubnicki Z. *Wstęp do systemów ekspertowych*. PWN, Warszawa, 1990.
- [2.2] Charniak E. Bayesian networks without tears. *AI Magazine*, 12(4):50–63, 1991.
- [2.3] Cholewa W. Tablice ogłoszeń w diagnostycznych systemach doradczych. *Pomiary, Automatyka, Kontrola*, 4:123–128, 1998.
- [2.4] Cholewa W. Wnioskowanie przybliżone w dynamicznych systemach doradczych. Chojcan J., Łęski J., redaktorzy, *Zbiory rozmyte i ich zastosowanie*. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice, 2001.

- [2.5] Cholewa W. Systemy doradcze w diagnostyce technicznej. Korbicz J., Kościelny J. M., Kowalczyk Z., Cholewa W., redaktorzy, *Diagnostyka procesów. Modele, metody sztucznej inteligencji, zastosowania*, strony 543–580. WNT, Warszawa, 2002.
- [2.6] Cholewa W. Sieci stwierdzeń w diagnostyce technicznej. *Diagnostyka*, 38:121–128, 2006.
- [2.7] Cholewa W. Stwierdzenia dynamiczne w diagnostyce. *Materiały XIII Konferencji Naukowej Wibroakustyki i Wibrotechniki*, strony 35–47, Kraków, 28–29.9. 2006.
- [2.8] Cholewa W. Sieci stwierdzeń w diagnostycznych systemach doradczych. Kowalczyk Z., Wiszniewski B., redaktorzy, *Inteligentne wydobywanie informacji w celach diagnostycznych*, strony 187–202. PWNT, Gdańsk, 2007.
- [2.9] Cholewa W., Czogała E. *Podstawy systemów ekspertowych*. Prace Instytutu Biocybernetyki i Inżynierii Biomedycznej PAN, Warszawa, 1989.
- [2.10] Cholewa W., Pedrycz W. *Systemy doradcze*. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice, 1987.
- [2.11] Chromiec J., Strzemieczna E. *Sztuczna inteligencja. Metody konstrukcji i analizy systemów eksperckich*. Akademicka Oficyna Wydawnicza PLJ, Warszawa, 1994. (wydanie drugie 1995).
- [2.12] Englemore R., Morgan T., redaktorzy. *Blackboard Systems*. Addison-Wesley, 1988.
- [2.13] Hajnicz E. *Reprezentacja logiczna wiedzy zmieniającej się w czasie*. Akademicka Oficyna Wydawnicza PLJ, Warszawa, 1996.
- [2.14] Hayes-Roth B. An architecture for adaptive intelligent systems. *Artificial Intelligence*, 72:329–365, 1995.
- [2.15] Henrion M., Breese J. S., Horvitz E. J. Decision analysis and expert systems. *AI Magazine*, 12(4):64–91, 1991.
- [2.16] Isham V. An introduction to spatial point processes and markov random fields. *Intl. Statist. Review*, 49:21–43, 1981.
- [2.17] Jagielski J., redaktor. *Inżynieria wiedzy w systemach ekspertowych*. Lubuskie Towarzystwo Naukowe, Zielona Góra, 2001.
- [2.18] Jensen V. J. *Bayesian Networks and Decision Graphs*. Springer, New York, 2002.
- [2.19] Kuncheva L. *Fuzzy Classifier Design*. Physica-Verlag, Heidelberg, 2000.
- [2.20] Lauritzen S. L. *Lectures on Contingency Tables*. University of Aalborg Press, Aalborg, 1982.
- [2.21] Ligęza A. *Logical Foundations for Rule-Based Systems*. Wydawnictwo AGH, Kraków, 2005.
- [2.22] Moczulski W. *Metody pozyskiwania wiedzy dla potrzeb diagnostyki maszyn*, wolumen 1382 serii *Zeszyty Naukowe*. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice, 1997.
- [2.23] Moczulski W. *Diagnostyka techniczna. Metody pozyskiwania wiedzy*, wolumen 36 serii *Monografie*. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice, 2002.
- [2.24] Moczulski W. Metody pozyskiwania wiedzy diagnostycznej. Korbicz J., Kościelny J. M., Kowalczyk Z., Cholewa W., redaktorzy, *Diagnostyka procesów. Modele, metody sztucznej inteligencji, zastosowania*, strony 623–664. WNT, Warszawa, 2002.
- [2.25] Mulawka J. J. *Systemy ekspertowe*. WNT, Warszawa, 1996.
- [2.26] Negnevitsky M. *Artificial Intelligence. A Guide to Intelligent Systems*. Addison-Wesley, 2002.
- [2.27] Niederliński A. *Regułowe systemy ekspertowe*. Wyd. Pracowni Komputerowej Jacka Skalmierskiego, Gliwice, 2000.
- [2.28] Pearl J. *Probabilistic Reasoning in Intelligent Systems. Networks of Plausible Inference*. Morgan Kaufmann, San Mateo, CA, 1988.
- [2.29] Rutkowski L. *Metody i techniki sztucznej inteligencji*. PWN, Warszawa, 2005.
- [2.30] Siler W., Buckley J. J. *Fuzzy Expert Systems and Fuzzy Reasoning*. John Wiley, New Jersey, 2005.
- [2.31] Wright S. The method of path coefficients. *Ann. Math. Statistics*, 5:161–215, 1934.



# Rozdział 3

## Szkielet systemu doradczego DiaDyn

Sebastian RZYDZIK

### 3.1. Wstęp

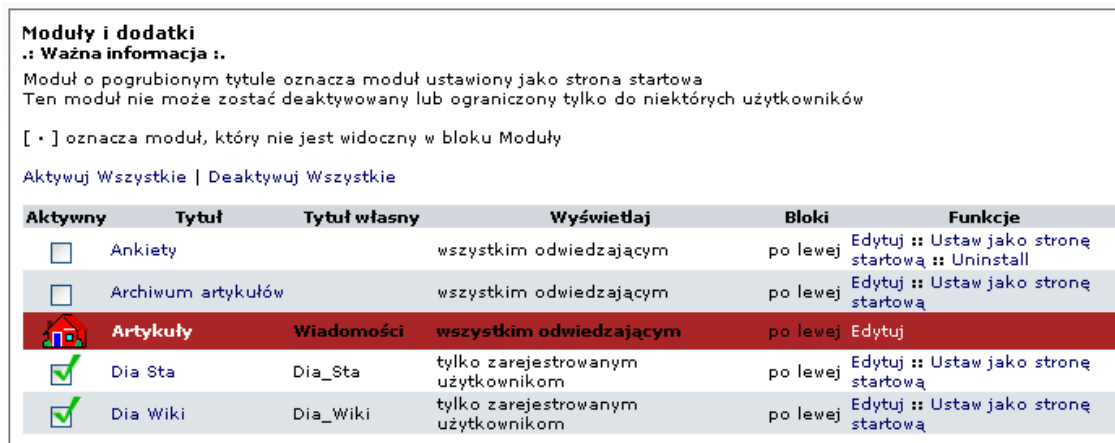
Moduł Dia\_Sys jest podstawowym modułem systemu DiaDyn [3.6][3.1]. Zadaniem tego modułu jest integrowanie pozostałych modułów wchodzących w skład systemu DiaDyn oraz wspomaganie obsługi systemu z poziomu przeglądarki internetowej. Moduł Dia\_Sys został opracowany na bazie oprogramowania Dragonfly CMS [3.2], które należy do grupy systemów zarządzania treścią (ang. Content Management System, CMS). Dokumentacja dla tego oprogramowania jest dostępna na stronie domowej projektu pod adresem <http://www.dragonflycms.org>. W rozdziale scharakteryzowano system Dragonfly, pokazano strukturę systemu DiaDyn, przedstawiono proces rejestracji nowych użytkowników oraz opisano podstawowe działania jakie można przeprowadzić z użyciem modułu Dia\_Sys. Ponadto, pokazano w jaki sposób tworzyć i uruchamiać nowe moduły. Część rozdziału zawiera uwagi o działaniach jakie mogą być realizowane przez współautorów systemu (np. dotyczące tworzenia własnych modułów). Zamieszczono je w tym rozdziale w celu dokładniejszego zilustrowania działania systemu.

Fragmety przedstawionych w tym rozdziale opisów pokrywają się z informacjami zawartymi w artykule [3.7].

### 3.2. Wybór narzędzia

Opracowanie modułu Dia\_Sys rozpoczęto od sporządzenia listy cech, jakie powinien posiadać budowany system DiaDyn. Poniżej wymieniono najważniejsze z nich:

- obsługa z użyciem przeglądarki internetowej (model klient-serwer);
- modułowa budowa (możliwość dołączania i zarządzania modułami);
- niezależność od systemu operacyjnego (zarówno dla klienta, jak i serwera);
- współpraca z bazą danych SQL;
- elastyczność w tworzeniu interfejsu graficznego;
- wspomaganie zarządzania udostępnianymi plikami;
- wspomaganie obsługi poczty elektronicznej (rozsyłanie informacji do użytkowników systemu);
- zarządzanie użytkownikami;
- zarządzanie grupami użytkowników;
- wspomaganie logowania użytkowników;



Rys. 3.1: Widok narzędzia do zarządzania modułami

- dostępność i otwartość kodu (licencja GNU GPL);
- dostępność dokumentacji programisty.

Przed przystąpieniem do pracy nad modułem Dia\_Sys rozpatrywano dwie możliwości: opracować system od podstaw lub skorzystać z istniejących rozwiązań. Sprawdzono obie możliwości. Opracowano prototypowy system cechujący się modułową strukturą oraz przeprowadzono analizę gotowych rozwiązań. Ostatecznie postanowiono, że moduł Dia\_Sys powstanie na bazie istniejącego systemu. Szczególną uwagę zwrócono na tzw. systemy zarządzania treścią (ang. Content Management System, CMS). W większości przypadków systemy te posiadają wymienione wcześniej cechy. Najlepszym systemem okazał się system Dragonfly CMS.

### 3.2.1. Charakterystyka systemu Dragonfly CMS

Dragonfly CMS jest darmowym (na licencji GNU GPL), szkieletowym systemem zarządzania treścią uruchamianym na serwerze stron internetowych (na serwerze WWW). Wybrany serwer WWW powinien dysponować możliwością uruchamiania skryptów napisanych w języku php [3.3]. Na stronie domowej projektu Dragonfly CMS autorzy dostarczają następujących informacji:

System Dragonfly CMS:

- bazuje na systemie PHP-Nuke w wersji 6.5 [3.4], przy czym poprawiono stabilność i bezpieczeństwo w stosunku do pierwowzoru,
- został napisany w całości w języku programowania php 4.3, przy czym można go uruchomić na serwerze z obsługą wyższych wersji języka php,
- współpracuje z bazą danych MySQL w wersji co najmniej 4.0 albo PostgreSQL w wersji 7.6 lub wyższej.

Główne zalety oprogramowania to:

- modułowa budowa; tworzone moduły mają niewielkie wymagania dotyczące ich integracji z systemem Dragonfly CMS, dzięki temu mogą być pisane jako osobne aplikacje internetowe i dopiero w końcowej fazie wdrażania są dodawane do struktury systemu,
- elastyczne zarządzanie modułami i blokami z poziomu panelu administracyjnego (rys. 3.1),
- system logowania użytkowników,
- system edycji uprawnień użytkowników i grup użytkowników z poziomu panelu administracyjnego (rys. 3.2),





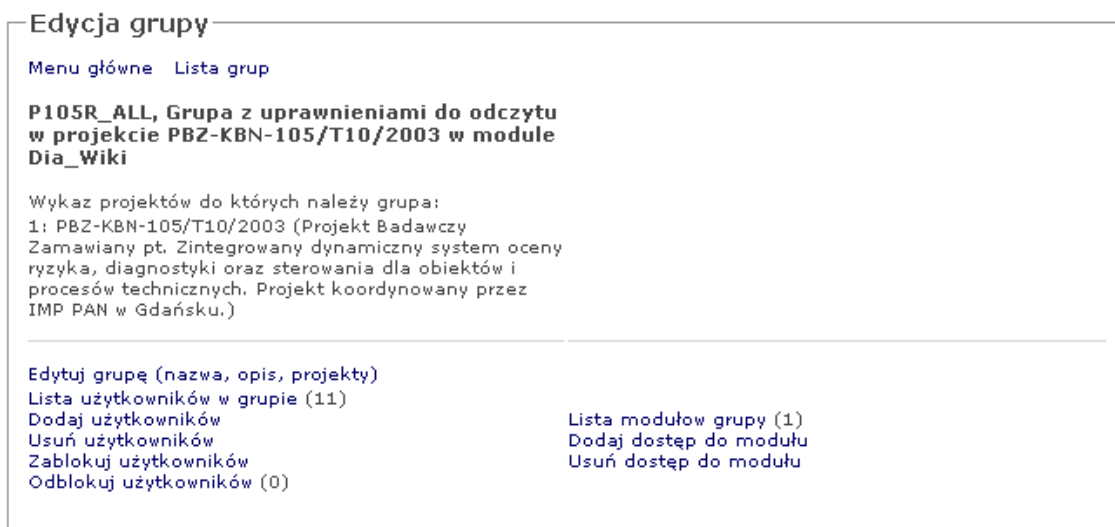
Rys. 3.2: Widok narzędzi do zarządzania użytkownikami

- obsługa bazy danych, w tym archiwizacja, z poziomu panelu administratora,

Ze strony użytkownika wymagane jest posiadanie jednej z popularnych przeglądarek internetowych (np. Internet Explorer, Opera lub Firefox) z włączoną obsługą języka JavaScript i akceptowaniem tzw. plików cookies.

### 3.2.2. Struktura zabezpieczeń systemu DiaDyn

Z poziomu modułu Dia\_Sys system DiaDyn jest widziany jako zbiór modułów z ograniczonym dostępem. Dostęp do modułów ograniczany jest na poziomie grupy użytkowników. Do każdej grupy przypisane są moduły oraz użytkownicy (rys. 3.3). Nazwa grupy może być jednocześnie identyfikatorem, na podstawie którego dany moduł może rozróżniać formy dostępu do niego, np. odczyt, zapis, częściowy dostęp do wybranych funkcji modułu itp.



Rys. 3.3: Widok narzędzia do zarządzania grupami

Ponadto, system DiaDyn jest przygotowany do obsługi wielu projektów. Wybrana grupa użytkowników może należeć do kilku projektów (rys. 3.4).

Podsumowując, użytkownik systemu DiaDyn ma dostęp do modułu, jeżeli (rys. 3.5, rys. 3.6):

1. posiada aktywne konto w systemie,
2. jest zarejestrowany w projekcie (przynajmniej jednym),
3. należy do grupy, która jest przypisana do projektu,
4. należy do grupy, która ma dostęp do modułu.

**Zmien nazwe i opis grupy**

Nazwa

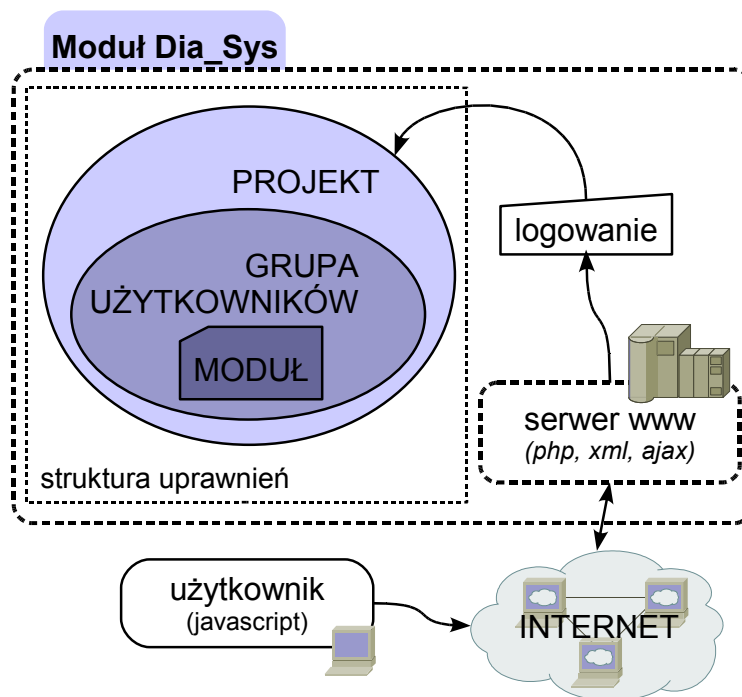
Opis

BW-xxx/RMT-6 (Grupy Tematyczne objęte badaniami własnymi prowadzonymi w Katedrze Podstaw Konstrukcji Maszyn Politechniki Śląskiej. Projekt dostępny wyłącznie dla pracowników, doktorantów i studentów Katedry.)

PBZ-KBN-105/T10/2003 (Projekt Badawczy Zamawiany pt. Zintegrowany dynamiczny system oceny ryzyka, diagnostyki oraz sterowania dla obiektów i procesów technicznych. Projekt koordynowany przez IMP PAN w Gdańsku.)

RMT6-Dyplomy (Projekt dla prac dyplomowych realizowanych w KPKM)

Rys. 3.4: Widok narzędzia do edycji parametrów grupy



Rys. 3.5: Uproszczona struktura zabezpieczeń systemu DiaDyn (moduł Dia\_Sys)

### 3.3. Główne okno modułu Dia\_Sys

Moduł Dia\_Sys działa na serwerze stron internetowych. Oprócz integracji modułów, moduł Dia\_Sys jest odpowiedzialny za tworzenie kodu html strony domowej systemu DiaDyn. W celu użycia tego modułu, czyli w celu użycia systemu DiaDyn, należy uruchomić przeglądarkę stron internetowych i wpisać adres <https://kpk.m.polsl.pl/diadyd>. Nie występuje potrzeba instalacji dodatkowego oprogramowania w komputerze końcowego użytkownika. W testach stosowano trzy najpopularniejsze przeglądarki: Internet Explorer 6, Opera 9.01 oraz Firefox 1.5.0.7. Nie ma wymagań dotyczących rodzaju systemu operacyjnego, na którym uruchamiana jest przeglądarka internetowa. Na rys. 3.7. pokazano okno główne modułu Dia\_Sys.

<p><b>Projekt: PBZ-KBN-105/T10/2003</b> (Projekt Badawczy Zamawiany pt. Zintegrowany dynamiczny system oceny ryzyka, diagnostyki oraz sterowania dla obiektów i procesów technicznych. Projekt koordynowany przez IMP PAN w Gdańsku.)</p>	<p>użytkownik <b>jest zarejestrowany</b> projekt <b>jest niezablokowany</b></p>
<p><b>Grupa: grupa 1</b> (opis grupy 1) <a href="#">edytuj</a></p> <p><i>Moduły:</i>  <b>Downloads</b> (Pobierz pliki)  <b>News</b> (Wiadomości)  <b>Search</b> (Szukaj)  <b>Topics</b> (Tematy)  <b>Your_Account</b> (Moje konto)</p>	<p>grupa <b>jest zablokowana</b> użytkownik <b>jest niezablokowany</b></p>
<p><b>Grupa: P105R_ALL</b> (Grupa z uprawnieniami do odczytu w projekcie PBZ-KBN-105/T10/2003 w module Dia_Wiki) <a href="#">edytuj</a></p> <p><i>Moduły:</i>  <b>Dia_Wiki</b> (Dia_Wiki)</p>	<p>grupa <b>jest niezablokowana</b> użytkownik <b>jest niezablokowany</b></p>
<p><b>Grupa: P105R_PBZ105T102003</b> (Lista użytkowników mających uprawnienia do strony głównej Dia_Wiki w projekcie PBZ) <a href="#">edytuj</a></p> <p><i>Moduły:</i>  <b>Dia_Wiki</b> (Dia_Wiki)  <b>Downloads</b> (Pobierz pliki)  <b>News</b> (Wiadomości)  <b>Search</b> (Szukaj)  <b>Topics</b> (Tematy)  <b>Your_Account</b> (Moje konto)</p>	<p>grupa <b>jest niezablokowana</b> użytkownik <b>jest niezablokowany</b></p>
<p><b>Grupa: P105W_Upload</b> (Grupa użytkowników z prawami przesyłania plików) <a href="#">edytuj</a></p> <p><i>Moduły:</i>  <b>Dia_Wiki</b> (Dia_Wiki)</p>	<p>grupa <b>jest niezablokowana</b> użytkownik <b>jest niezablokowany</b></p>

Rys. 3.6: Przykładowy wykaz dostępnych dla użytkownika projektów, grup i modułów

Rys. 3.7: Okno główne modułu Dia\_Sys (systemu DiaDyn)

Główne okno modułu można podzielić na cztery obszary (rys. 3.8). W obszarze A pokazywana jest nazwa systemu. Obszar B zawiera bloki funkcjonalne, które zawierają m.in. odsyłacze uruchamiające inne moduły, ważne dla użytkownika informacje oraz inne funkcje specjalne, które

pojawiają się tylko dla wybranych modułów. Należy zaznaczyć, że organizacja i zawartość bloków jest dynamiczna. Ponadto podobne bloki funkcjonalne mogą pojawić się po prawej stronie okna. Obszar C zajmuje największą szerokość okna i jest jednocześnie podstawowym obszarem działania modułów systemu DiaDyn. To właśnie w tym obszarze możliwa jest interakcja użytkownika z wybranym modułem. Obszar D, niewielka ikona „minus w kwadratowym obramowaniu”, po kliknięciu wywołuje funkcję, która ukrywa obszary A i B, tym samym zwiększając szerokość obszaru C. Jednocześnie ikona zmienia swój wygląd na „plus w kwadratowym obramowaniu”. Ponowne kliknięcie na tej ikonie powoduje sytuację odwrotną – obszary A i B stają się widoczne.



Rys. 3.8: Analiza interfejsu głównego okna modułu Dia\_Sys (opis w tekście)

### 3.4. Rejestrowanie nowych użytkowników

Proces rejestracji nowych użytkowników jest dwuetapowy. W pierwszym etapie użytkownik rejestruje się w systemie DiaDyn. Proces ten odbywa się automatycznie, bez udziału administratora systemu. W drugim etapie użytkownik rejestruje się w wybranym projekcie wysyłając prośbę do administratora o nadanie szczególnych uprawnień. Użytkownik zarejestrowany w systemie DiaDyn ma dostęp do listy aktywnych projektów. Oba etapy rejestracji opisano w dalszej części rozdziału.

#### 3.4.1. Rejestracja w systemie DiaDyn

Jak już wspomniano, proces rejestracji nowego użytkownika w systemie odbywa się całkowicie automatycznie. W celu uruchomienia tego etapu rejestracji należy najpierw zalogować się na konto specjalnego użytkownika, który ma prawo wyłącznego dostępu do formularza rejestracyjnego. Pseudonim i hasło użytkownika rejestracyjnego podano poniżej:

pseudonim: regdiadyn  
hasło: 19dia06sys

Hasło tego użytkownika będzie zmieniane co pewien okres czasu.

Po zalogowaniu się na konto użytkownika regdiadyn pojawi się formularz rejestracyjny (rys. 3.9). Wypełnienie formularza wymaga podania proponowanego pseudonimu użytkownika, adresu e-mail oraz hasła do konta, które należy powtórzyć w ostatnim polu. Jeżeli pola haseł pozostaną puste system sam wygeneruje hasło. Przyciśnięcie przycisku „Wyślij” spowoduje weryfikację podanych danych. Jeżeli pseudonim lub adres e-mail są już zarejestrowane w systemie, to użytkownik zostanie poproszony o zmianę tych danych. System wymaga, żeby hasło miało przynajmniej 5 znaków. Jeżeli

proces weryfikacji zakończy się pozytywnie, to system poprosi o sprawdzenie podanych informacji (rys. 3.10).

Rys. 3.9: Formularz rejestracyjny dla nowych użytkowników systemu DiaDyn

Rys. 3.10: Formularz rejestracyjny. Sprawdzenie poprawności podanych informacji

Jeżeli użytkownik uzna, że podane informacje są poprawne, to powinien wprowadzić kod zabezpieczający widoczny na obrazku i zakończyć ten etap klikając na przycisk „Zakończ”. W przeciwnym przypadku użytkownik może wrócić i poprawić błędne informacje. Po zakończeniu tego etapu należy się wylogować z konta użytkownika regdiadyn, w tym czasie system wysyła na podany adres e-mail specjalny odsyłacz z kodem aktywacyjnym ważnym przez 24 godziny. Użytkownik powinien otworzyć otrzymany list aktywacyjny i odnaleźć wspomniany odsyłacz. Zakończenie rejestracji w systemie DiaDyn polega na kliknięciu otrzymanego odsyłacza lub skopiowanie go do paska adresu przeglądarki internetowej i wywołaniu go, tak jak w przypadku otwierania zwykłych stron internetowych. Jeżeli wszystko zakończy się poprawnie system powiadomi użytkownika, na aktualnie otwartej stronie, o pozytywnej aktywacji konta. Od tej chwili użytkownik może logować się do systemu DiaDyn.

Należy zaznaczyć, że użytkownik zarejestrowany w systemie DiaDyn i nie zarejestrowany w projekcie ma bardzo ograniczone możliwości. Dopiero rejestracja w projekcie, opisana w następnym punkcie, umożliwia uzyskanie dostępu do bardziej zaawansowanych funkcji.

### 3.4.2. Rejestracja w projekcie

Rejestracja w projekcie musi być poprzedzona rejestracją w systemie DiaDyn. Dopiero uzyskanie konta w systemie DiaDyn i zalogowanie się przez podanie swojego pseudonimu i hasła daje dostęp do drugiego formularza rejestracyjnego. Odsyłacz do formularza, ujęty w ramkę w „Menu głównym”, pokazano na rys. 3.11.

Rys. 3.11: Formularz rejestracyjny dla nowych użytkowników w projekcie

Formularz rejestracyjny w projekcie ma identyczną postać jak formularz rejestracyjny w systemie DiaDyn, opisany w poprzednim punkcie. Jednak w tym przypadku należy dodatkowo podać swoje prawdziwe imię i nazwisko, miejsce pracy oraz telefon kontaktowy. Następnie należy przejść do weryfikacji podanych danych klikając na przycisk „Wyślij”. Jeżeli system nie będzie miał zastrzeżeń do podanych danych pojawi się prośba o ponowne sprawdzenie podanych informacji, podobnie jak na rys. 3.10. Po naciśnięciu przycisku „Zakończ” system wyświetli komunikat o poprawnym zakończeniu tego etapu rejestracji (rys. 3.12.) jednocześnie umieszczając prośbę o rejestrację w projekcie w kolejce użytkowników których należy zweryfikować.

Rys. 3.12: Formularz rejestracyjny dla nowych użytkowników w projekcie. Komunikat końcowy

Weryfikacja użytkowników dokonywana jest przez administratora na podstawie list osób mających prawo uczestniczenia w danym projekcie. Listy dostarczane są przez Kierownika projektu, Kierowników grup tematycznych i Kierowników tematów. Jeżeli dane użytkownika nie są ujęte na

tych listach, to taka prośba jest odrzucana. W przeciwnym przypadku użytkownik wysyłający prośbę zostaje dopisany do projektu, a tym samym otrzymuje dostęp do specjalnych funkcji (modułów) systemu DiaDyn. W obu opisanych przypadkach, decyzja o odrzuceniu lub akceptacji prośby jest potwierdzana specjalnym listem elektronicznym wysyłanym na adres e-mail podany przy rejestracji do systemu DiaDyn. Z powodu „ręcznej” weryfikacji prośby użytkownika przez administratora ten etap może potrwać kilka dni.

### 3.5. Logowanie w systemie DiaDyn

Dostęp do funkcji modułu Dia\_Sys, a tym samym systemu DiaDyn, jest możliwy dopiero po zalogowaniu się w systemie. Jednak zanim to nastąpi należy uprzednio zarejestrować się w systemie i/lub w projekcie wypełniając formularz (formularze) rejestracyjny opisany w poprzednim punkcie. W celu zalogowania się do systemu należy wpisać pseudonim (nazwę) użytkownika, hasło i kod zabezpieczający w przeznaczonych do tego celu polach bloku „Logowanie” lub przejść do modułu „Moje konto” obsługującego użytkowników systemu i tam podać odpowiednie dane (rys. 3.13). Na

Rys. 3.13: Blok „Logowanie” i moduł „Moje konto” z żądaniem logowania

rys. 3.14 pokazano stronę główną systemu DiaDyn dla użytkownika, który poprawnie zalogował się w systemie – bloki „Menu główne” i „Logowanie” zmieniły swoją zawartość udostępniając funkcje przeznaczone tylko dla zarejestrowanych użytkowników. Teraz, po wybraniu modułu „Moje konto”, można uzupełnić dodatkowe informacje o sobie (zakładki: *Mój profil publiczny*, *Informacje o profilu*, *Informacje osobiste*, *Informacje rejestracyjne*), ustawić preferencje (zakładki: *Moje preferencje*, *Moje ustawienia strony startowej*, *Moje ustawienia komentarzy*) lub odczytać/zredagować wiadomość do innego, zarejestrowanego użytkownika systemu DiaDyn (zakładki w grupie „Wiadomości prywatne”).

**Logowanie w przypadku zapomnienia hasła** W przypadku, gdy użytkownik zapomni swoje hasło, należy wybrać kolejno „Moje konto” i odsyłacz „Nie pamiętasz hasła?”, a następnie według instrukcji. Należy zaznaczyć, że tymczasowe hasło może być wysłane tylko na adres e-mail podany w trakcie rejestracji użytkownika.

### 3.6. Zasoby Systemu DiaDyn

Uruchomienie wybranego modułu polega na wybraniu odpowiedniego odsyłacza z bloku „Menu główne”. „Menu główne” podzielono na następujące grupy:



Rys. 3.14: Okno główne modułu Dia\_Sys dla zalogowanego użytkownika

1. **Strona główna**, gromadzi odsyłacze do modułów ściśle związanych ze stroną internetową systemu DiaDyn, jak np.: artykuły lub wiadomości;
2. **DiaDyn**, gromadzi odsyłacze do modułów ściśle związanych z systemem DiaDyn;
3. **Opcje użytkownika**, zawiera odsyłacze do modułów pozwalających na zarządzanie własnym kontem lub wiadomościami prywatnymi;
4. **Szukaj**, udostępnia opcję przeszukiwania zawartości modułu Dia\_Sys (np. artykułów);
5. **Web**, zawiera odsyłacze do modułów ułatwiających pobieranie dokumentacji i innych zasobów plikowych lub przeglądanie odsyłaczy do innych zasobów w internecie związanych z systemem DiaDyn.

Dalej krótko opisano przykładowy moduł Dia\_Wiki [3.5].

**Przykład modułu** Moduł Dia\_Wiki jest modułem, który może działać samodzielnie, niezależnie od modułu Dia\_Sys. Ze względu na przyjęty model zabezpieczeń dla całego systemu, w rzeczywistości użytkownik musi się zalogować do modułu Dia\_Sys (systemu DiaDyn). Żeby móc korzystać z modułu Dia\_Wiki, użytkownik musi posiadać uprawnienia, które są nadawane przez Administratora. Głównym zadaniem modułu jest dostarczenie mechanizmów usprawniających gromadzenie, przechowywanie i zarządzanie wiedzą.

W celu wspomaganie integracji modułu Dia\_Wiki z innymi modułami systemu opracowano zbiór specjalnych funkcji (p. 3.7.4). Na przykład z poziomu Dia\_Sys możliwe jest wywołanie okna z modułem Dia\_Wiki (rys. 3.15.), a także bezpośrednie wywoływanie potrzebnych informacji (np.: haseł, stwierdzeń itp.).

## 3.7. Tworzenie własnych modułów

### 3.7.1. Podstawowa struktura modułu

Moduły mogą być pisane w dowolnym języku programowania obsługiwany przez serwer WWW (php, java) lub przeglądarkę internetową klienta (java, javascript). Należy pamiętać o tym, że inte-





Rys. 3.15: Przykładowe wywołanie modułu Dia\_Wiki

gracja projektowanego modułu z modułem Dia\_Sys musi być zrealizowana w języku php. Na wydruku 3.1 pokazano kod przykładowego modułu. Komentarze do poszczególnych poleceń zawarto w kodzie.

Wydruk 3.1: Przykład modułu

```

1 <?
2 // zabezpieczenie modułu przed niepowołanym dostępem
3 if (!defined('CPG_NUKE')) { exit; }
4
5 // inicjalizacja modułu - nazwa strony z modułem,
6 // ścieżka i nazwa katalogu na dysku lokalnym serwera
7 // w którym umieszczono moduł
8 $pagetitle .= 'Dia.MyModule';
9 $filepath = './modules/'.basename(dirname(__FILE__));
10
11 // dołączenie pliku z nagłówkiem strony głównej
12 require_once('header.php');
13
14 // otwarcie tabeli, która jest miejscem pokazywania
15 // informacji generowanych przez moduł
16 OpenTable();
17
18 // tutaj można umieszczać właściwy kod modułu
19 echo 'Właściwy_kod_modułu';
20
21 // zamknięcie tabeli
22 CloseTable();
23
24 // dołączenie pliku ze stopką strony głównej
25 // (nie jest obowiązkowe)
26 // require('footer.php');
27 ?>

```

Główny plik modułu musi mieć nazwę `index.php` i powinien być umieszczony w katalogu o ciągłej nazwie (bez spacji), która zawiera tylko litery alfabetu łacińskiego oraz cyfry. W ramach katalogu

modułu można tworzyć własną strukturę katalogów. Należy pamiętać, żeby wszystkie ścieżki do plików i katalogów zapisywać jako względne.

Możliwe jest dołączanie bibliotek systemu poprzez umieszczenie odpowiedniej komendy zaraz po wierszu z kodem zabezpieczającym moduł przed niepowołanym dostępem, np.:

Wydruk 3.2: Przykład dołączenia biblioteki do modułu

```
1 // przykład dołączenia biblioteki
2 require_once ( './includes/pl_char/pl.inc.php' );
```

### 3.7.2. Menu modułu

Każdy moduł może posiadać własne menu, które uaktywnia się wraz z uruchomieniem modułu. Menu modułu wstawiane jest jako blok na pierwszej pozycji w lewej kolumnie strony głównej (rys. 3.8). Przykład kodu menu modułu pokazano na wydruku 3.3.

Wydruk 3.3: Przykład menu modułu

```
1 // sprawdzenie czy stała pomocnicza jest zdefiniowana
2 if (!defined('MEMBER_BLOCK')) {
3     define('MEMBER_BLOCK', 1);}
4
5 // funkcja generowania bloku z menu modułu
6 function member_block() {
7     $content = "<a href='./lnk'>odsyłacz_1</a><br>";
8     $content.= "<a href='./lnk'>odsyłacz_2</a><br>";
9     $content.= "<a href='./lnk'>odsyłacz_3</a><br>";
10
11     themesidebox(("nazwa_menu"), $content, 10002);
12 }
```

Zaleca się, żeby kod z menu modułu był wstawiony zaraz za wierszami związanymi z inicjalizacją modułu.

### 3.7.3. Zmienne specjalne

Każdy moduł ma dostęp do zmiennych globalnych systemu. Poniżej zamieszczono listę wybranych zmiennych wraz z ich krótkim opisem:

1. \$MAIN\_CFG – tablica przechowująca informacje związane z modułem Dia\_Sys;
2. \$CLASS['member'] – tablica przechowująca informacje o aktualnie zalogowanym użytkowniku;
3. \$CPG\_SESS – tablica przechowująca parametry bieżącej sesji;
4. \$currentlang – zmienna przechowująca nazwę języka narodowego, zmienna potrzebna w tworzeniu modułów wielojęzycznych;
5. \$pagetitle – nazwa bieżącego modułu.

### 3.7.4. Dołączanie zewnętrznych bibliotek

Każdy moduł ma dostęp do bibliotek funkcji systemowych, które są udostępniane przez administratora. Na dzień publikacji tych materiałów dostępne są dwie biblioteki: dia\_wiki i pl\_char.

#### Biblioteka dia\_wiki

Biblioteka zawiera funkcje przeznaczone do obsługi modułu Dia\_Wiki. Można ją dołączyć na przykład funkcją require\_once:

Wydruk 3.4: Dołączenie biblioteki dia\_wiki

```
1 require_once('./includes/dia_wiki/wiki.php');
```

Biblioteka zawiera następujące funkcje:

- `wikiframe (x, y)` – funkcja dodaje okno z modulem `Dia_Wiki` w miejscu jej wywołania. Parametry `x` i `y` określają wymiary w pikselach (px) wstawianej ramki. Nie można wyświetlić kilku ramek z modulem `Dia_Wiki` na tej samej stronie.
- `wikilink ('haslo_w_wiki', 'wyswietlana_nazwa_odsylacza')` – funkcja dodaje odsyłacz do hasła zdefiniowanego w module `Dia_Wiki` w miejscu jej wywołania. Parametr `'haslo_w_wiki'` powinien mieć przyjęty w `Dia_Wiki` format `grupa.haslo`, np.: `Main.HomePage`. Parametr `'wyswietlana_nazwa_odsylacza'` pozwala ustalić wyświetlaną nazwę odsyłacza, może to być również np.: `Main.HomePage` lub po prostu `HomePage`.
- `wikilinking('lancuch_txt', 'tablica_z_nazwami_grup')` – funkcja konwertuje wskazany `'lancuch_txt'` odszukując w nim haseł zdefiniowanych w `Dia_Wiki` i zastępując je odsyłaczami do tych haseł. Można zawęzić zakres poszukiwań do jednej lub kilku wybranych grup haseł definiując `'tablica_z_nazwami_grup'`, np.: `array('Main', 'PmWiki')` lub bezpośrednio przyporządkować hasło do grupy haseł wpisując je do `'lancuch_txt'` w postaci `grupa.haslo` (możliwe jest przyporządkowanie tego samego hasła do różnych grup). Funkcja radzi sobie również z hasłami umieszczonymi w cudzysłowach lub innych znakach specjalnych (`, . : - + = ! ? " ' < >`) umieszczonych w dowolnych kombinacjach (np.: `<>haslo-+"`). Dopuszczalne jest również użycie znaczników html (np.: `<b>hasło</b>`), przy czym należy ostrożnie zagnieźdzać inne odsyłacze wpisywane bezpośrednio jako `<a href=...>link</a>`.

### Biblioteka pl\_char

Biblioteka zawiera funkcje przeznaczone do konwersji strony kodowej łańcuchów znaków. Można ją użyć we własnym module za pomocą funkcji `require_once`:

Wydruk 3.5: Dołączenie biblioteki pl\_char

```
1 require_once('./includes/pl_char/pl.inc.php');
```

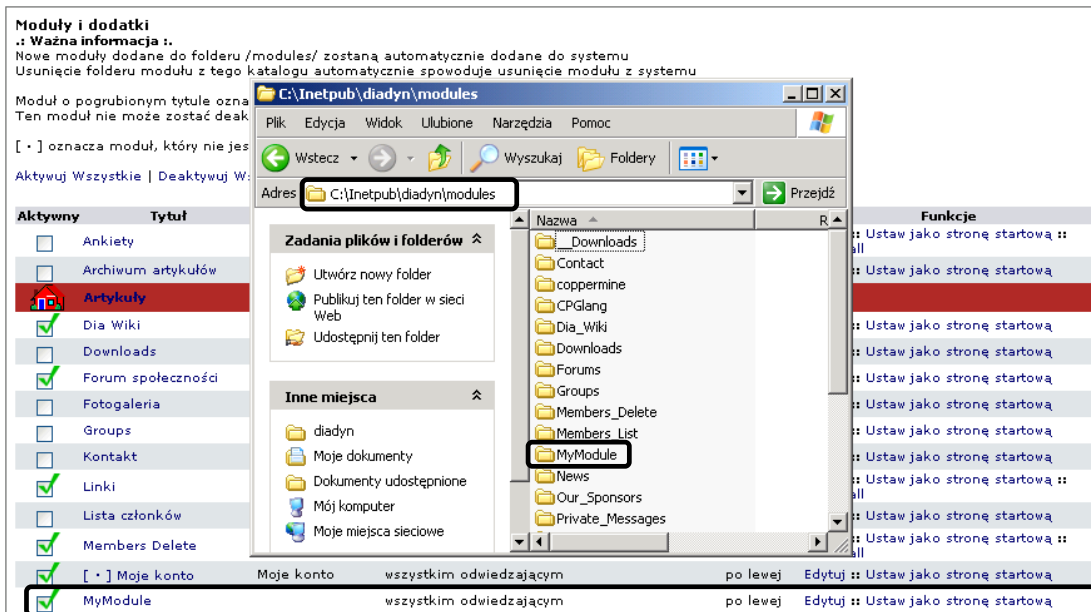
Najważniejsze funkcje tej biblioteki, to:

- `pl_win2utf8 ($str)` – funkcja konwertuje znaki łańcucha `$str` zakodowane w postaci `windows-1250` na postać `utf-8`
- `pl_iso2utf8 ($str)` – funkcja konwertuje znaki łańcucha `$str` zakodowane w postaci `iso-8859-2` na postać `utf-8`

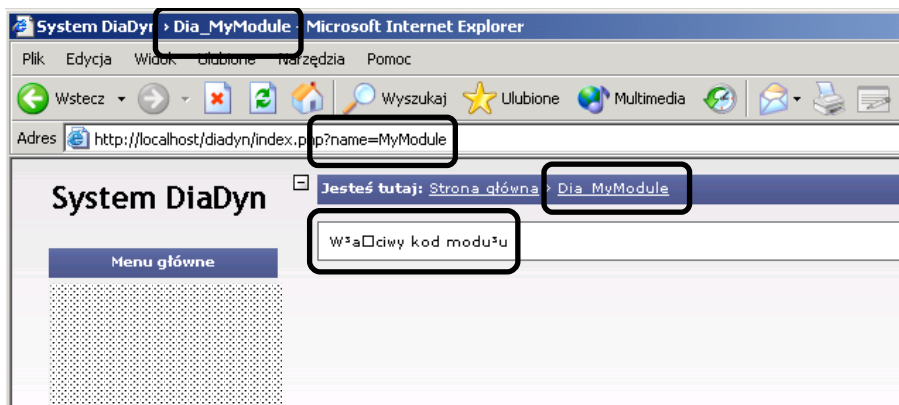
### 3.7.5. Przykład modułu

W rozdz. 3.7.1 na wydruku 3.1 pokazano przykładowy kod modułu o nazwie `MyModule`. Przedstawiony kod modułu należy zapisać w pliku `index.php` i umieścić w katalogu o wybranej nazwie, np.: `MyModule`. Następnie, utworzony katalog z modulem należy umieścić w katalogu `./modules/` systemu `DiaDyn` (rys. 3.16). Ostatni etap polega na uaktywnieniu nowoutworzonego modułu w systemie. Aktywację modułu może przeprowadzić wyłącznie administrator.

Wynik działania przykładowego modułu `MyModule` pokazano na rys. 3.17. Jak widać jedynym przejawem działania modułu jest pokazywanie komunikatu 'Właściwy kod modułu'. Należy zauważyć, że wyświetlana nazwa modułu nie musi być tożsama z nazwą samego modułu (nazwą katalogu modułu). Ponadto, można zauważyć, że w wyświetlanym komunikacie błędnie pokazywane są polskie znaki dialektyczne. Problem bierze się stąd, że edycję pliku `index.php` przeprowadzano w systemie `Windows`, który domyślnie używa znaków kodowanych w formacie `Windows-1250`,



Rys. 3.16: Dodawanie i aktywowanie modułu MyModule w systemie DiaDyn



Rys. 3.17: Moduł MyModule

natomiast system DiaDyn koduje znaki w formacie UTF-8.

Problem kodowania znaków rozwiązuje biblioteka `pl_char` (p. 3.7.4). Przykład dołączenia biblioteki do modułu `MyModule` i jej użycia pokazano na wydruku 3.6.

Wydruk 3.6: Dołączenie biblioteki `pl_char`

```

1      (...)
2
3      $filepath = './modules/'.basename(dirname(__FILE__));
4
5      // przykład dołączenia biblioteki
6      require_once ('./includes/pl_char/pl.inc.php');
7
8      // dołączenie pliku z nagłówkiem strony głównej
9      require_once('header.php');
10
11     // otwarcie tabeli, która jest miejscem pokazywania

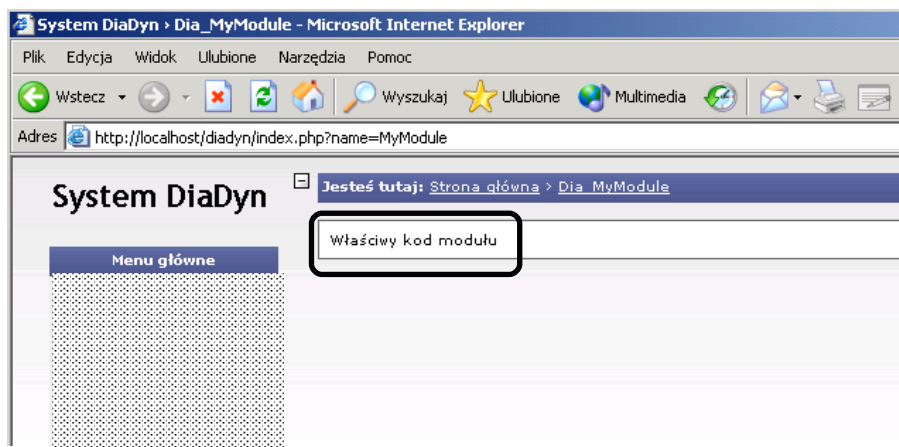
```

```

12 // informacji generowanych przez moduł
13 OpenTable();
14
15 // tutaj można umieszczać właściwy kod modułu
16 echo pl_win2utf8 ('Właściwy_kod_modułu<br>');
17
18 // zamknięcie tabeli
19 (...)

```

Wynik działania po dodaniu biblioteki `pl_char` i użyciu funkcji `pl_win2utf8()` pokazano na rys. 3.18. Jak widać komunikat jest wyświetlany prawidłowo.



Rys. 3.18: Widok modułu `MyModule` korzystającego z funkcji `pl_win2utf8()` biblioteki `pl_char`

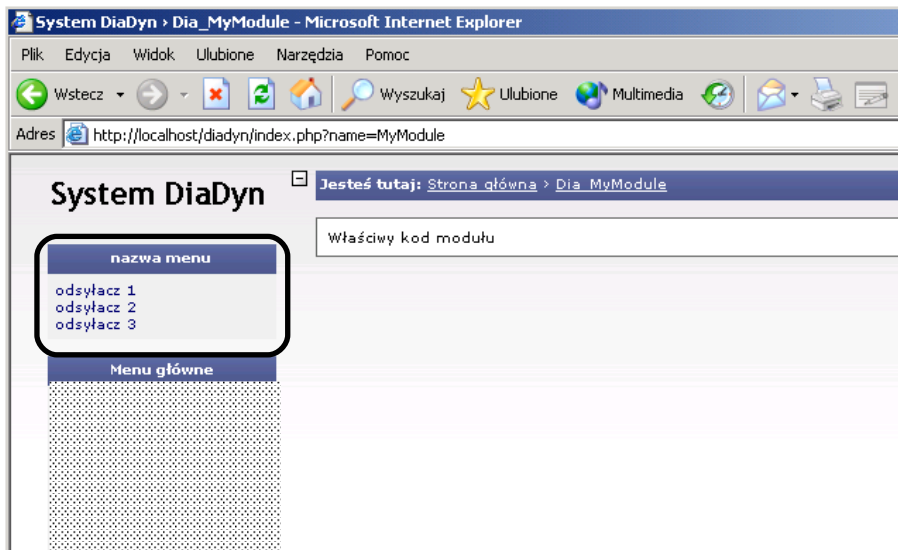
Jak już wspomniano w rozdz. 3.7.2 moduł może posiadać własne menu. Przykładowy kod modułu rozbudowany o polecenia generujące menu modułu pokazano na wydruku 3.7. Przykład działania kodu pokazano na rys. 3.19.

Wydruk 3.7: Funkcja generująca menu modułu

```

1      (...)
2
3      $pagetitle .= 'Dia_MyModule';
4      $filepath = './modules/'.basename(dirname(__FILE__));
5
6      // sprawdzenie czy stała pomocnicza jest zdefiniowana
7      if (!defined('MEMBER_BLOCK')) {
8          define('MEMBER_BLOCK', 1);}
9
10     // funkcja generowania bloku z menu modułu
11     function member_block() {
12         $content = "<a href='./lnk'>odsyłacz_1</a><br>";
13         $content.= "<a href='./lnk'>odsyłacz_2</a><br>";
14         $content.= "<a href='./lnk'>odsyłacz_3</a><br>";
15
16         themesidebox((pl_win2utf8("nazwa_menu")),
17                     pl_win2utf8($content), 10002);
18     }
19
20     // przykład dołączenia biblioteki
21     require_once ('./includes/pl_char/pl.inc.php');
22
23     (...)

```



Rys. 3.19: Widok modułu MyModule rozbudowanego o podręczne menu

Polecenie dodane do kodu modułu w wierszu nr 5 (wydruk 3.8) powoduje dołączenie biblioteki `dia_wiki` (rozd. 3.7.4). Natomiast w wierszu nr 18 pokazano przykład użycia funkcji dodającej okno z modułem `Dia_Wiki`. Wynik działania kodu pokazano na rys. 3.20.

Wydruk 3.8: Dołączenie biblioteki `dia_wiki` i funkcji generującej okno z modułem `Dia_Wiki`

```

1      (...)
2
3  // przykład dołączenia biblioteki
4  require_once ('./includes/pl_char/pl.inc.php');
5  require_once ('./includes/dia_wiki/wiki.php');
6
7  // dołączenie pliku z nagłówkiem strony głównej
8  require_once('header.php');
9
10 // otwarcie tabeli, która jest miejscem pokazywania
11 // informacji generowanych przez moduł
12 OpenTable();
13
14 // tutaj można umieszczać właściwy kod modułu
15 echo pl_win2utf8 ('Właściwy_kod_modułu<br>');
16 echo pl_win2utf8 ("<center>".wikiframe (400,250,'')."</center>");
17      (...)

```

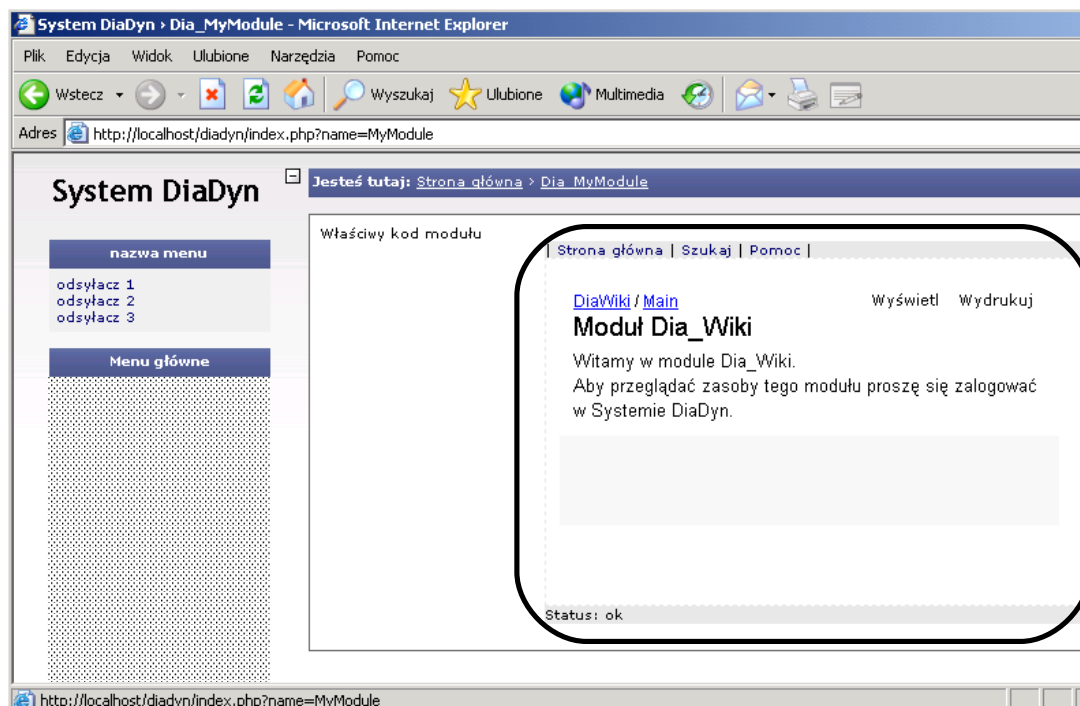
Kod modułu `MyModule` rozbudowany o dodatkowe funkcje z biblioteki `dia_wiki` pokazano na wydruku 3.9. Użycie funkcji `wikilinking()` umożliwi automatyczne tworzenie odsyłaczy do haseł utworzonych w module `Dia_Wiki`. Przykład działania tak zmodyfikowanego modułu `MyModule` pokazano na rys. 3.21.

Wydruk 3.9: Użycie funkcji `wikilinking()`

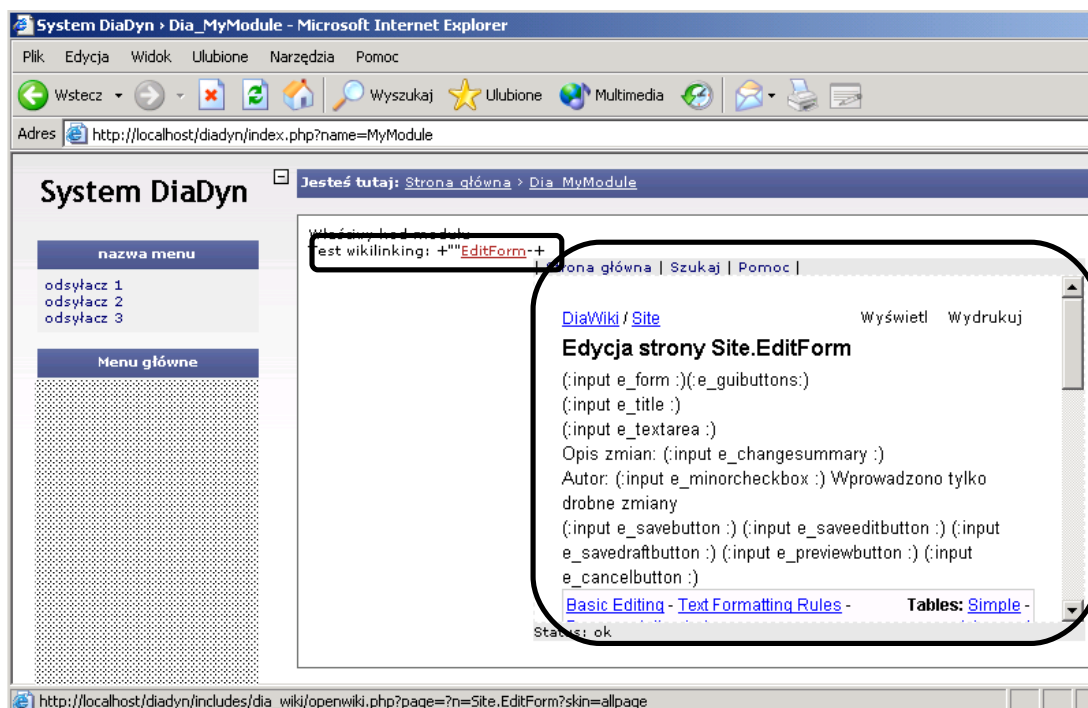
```

1      (...)
2
3  // tutaj można umieszczać właściwy kod modułu
4  echo pl_win2utf8 ('Właściwy_kod_modułu<br>');
5  echo pl_win2utf8 (wikilinking('Test_wikilinking:_' + EditForm + '));
6  echo pl_win2utf8 ("<center>".wikiframe (400,250,'')."</center>");
7      (...)

```



Rys. 3.20: Widok modułu MyModule z oknem modułu Dia\_Wiki



Rys. 3.21: Widok modułu MyModule korzystającego z funkcji wikilinking() biblioteki dia\_wiki

## Bibliografia

- [3.1] Cholewa W. Ogólna koncepcja systemu DIADYN. Cholewa W., redaktor, *Warsztaty DIADYN. Materiały seminaryjne. wydanie II, poprawione i uzupełnione*, strony 4–14. Katedra PKM Politechniki Śląskiej, Ustroń, 2006-09-23.
- [3.2] Dragonfly CMS. Home page. <http://www.dragonflycms.org>, 2007.
- [3.3] PHP. Hypertext Preprocessor. Home page. <http://www.php.net>, 2007.
- [3.4] PHP-Nuke. Home page. <http://www.phpnuke.org>, 2007.
- [3.5] PmWiki. Home page. <http://www.pmwiki.org>, 2007.
- [3.6] Projekt PBZ-KBN-105/T10/2003 koordynowany przez IMP PAN. System DiaDyn. <https://kpkp.polsl.pl/diadynd/>, październik 2007.
- [3.7] Rzydzik S. Ogólne zasady stosowania modułu DIA\_SYS. Cholewa W., redaktor, *Warsztaty DIADYN. Materiały seminaryjne. wydanie II, poprawione i uzupełnione*, strony 44–51. Katedra PKM Politechniki Śląskiej, Ustroń, 2006-09-23.



# Rozdział 4

## Redagowanie sieci stwierdzeń

Krzysztof PSIUK

### 4.1. Wprowadzenie

Działania związane z przygotowaniem sieci stwierdzeń do użytkowania zostały podzielone na kilka etapów. Można tutaj wymienić między innymi:

- redagowanie sieci stwierdzeń,
- konstruowanie sieci stwierdzeń,
- stosowanie sieci stwierdzeń.

Podział na takie zadania wynika z zaproponowanego sposobu opisu wiedzy w systemie DiaDyn [4.1]. Podstawowymi elementami reprezentacji wiedzy w systemie DiaDyn są stwierdzenia [4.2]. To one stanowią podstawę do dalszych prac. W zaproponowanym rozwiązaniu rozdzielono zagadnienia związane z opracowaniem samych stwierdzeń, które będą służyły do budowy sieci, oraz konstruowaniem sieci stwierdzeń i uruchamianiem procesu wnioskowania. Zadania związane z opracowaniem samych stwierdzeń zostały połączone z zadaniami związanymi z przygotowaniem systemu objaśnień, który ma pomóc użytkownikowi w wyciągnięciu wniosków z wyników procesu wnioskowania. Natomiast zadania związane z uruchamianiem procesu wnioskowania zostały powiązane z zadaniami dotyczącymi konstruowania samej sieci stwierdzeń. Takie podejście ułatwia przeprowadzanie testów sieci, ale również przeprowadzanie procesu uczenia sieci. Do wykonywania tych zadań zostały przygotowane trzy moduły w systemie DiaDyn:

**Dia\_Wiki** moduł przeznaczony do redagowania treści stwierdzeń oraz systemu objaśnień,

**Dia\_Sta** moduł przeznaczony do konstruowania sieci stwierdzeń i uruchamiania procesu wnioskowania,

**Dia\_Bel** moduł przeznaczony do realizacji procesu wnioskowania, opisany w rozdziale 6.

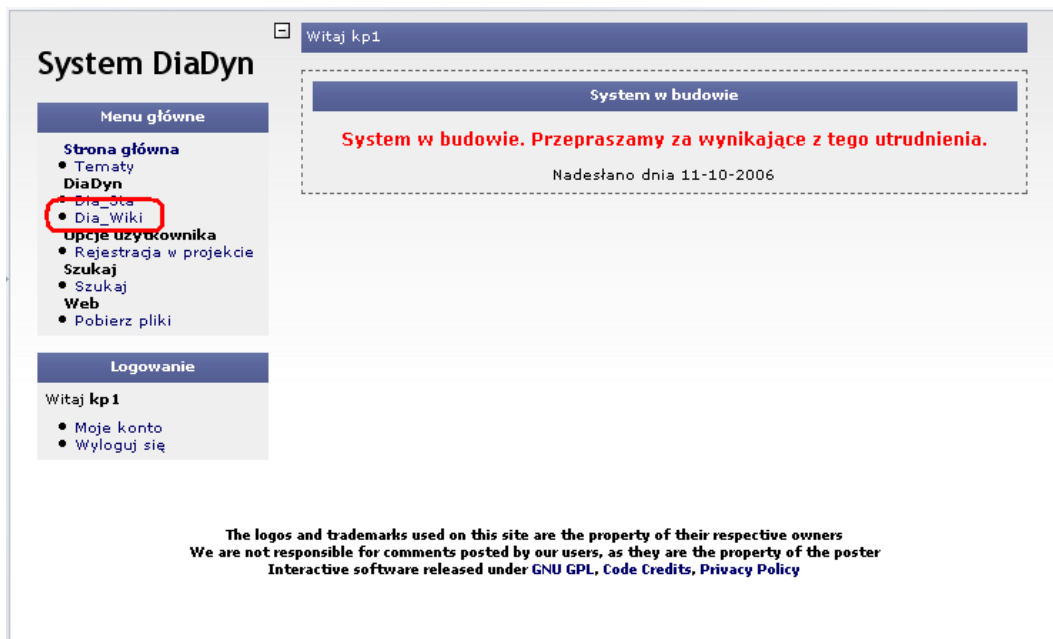
W dalszej części tego rozdziału zostanie opisany proces redagowania stwierdzeń oraz systemu objaśnień.

### 4.2. Redagowanie stwierdzeń

Moduł Dia\_Wiki został opracowany na bazie rozwiązań stosowanych w internetowych encyklopediach typu Wiki. Podstawą dla opracowania tego modułu była dystrybucja PmWiki [4.3]. Dystrybucja ta została zmodyfikowana w taki sposób, aby było możliwe włączenie jej do systemu DiaDyn. Wprowadzono również modyfikacje w konfiguracji tego oprogramowania oraz przystosowano w odpowiedni sposób interfejs użytkownika.

Podstawą do opracowania sieci stwierżeń jest przygotowanie odpowiedniego *słownika stwierżeń*, na podstawie którego możliwe będzie utworzenie nowej sieci. W celu zdefiniowania nowego *słownika* należy najpierw opracować zbiór *stwierżeń*, które będą elementami tego słownika. Do wyjaśnienia nieznanych słów, pojęć lub zwrotów, służą elementy nazywane w module Dia\_Wiki *hasłami*. Autor danego zbioru stwierżeń, w celu wyjaśnienia używanych pojęć lub zwrotów może je opisać wykorzystując w tym celu właśnie *hasła*. Hasła poruszające podobne zagadnienia lub dotyczące określonej tematyki mogą być grupowane w *tematy*. W ten sposób, autor danej sieci stwierżeń może opracować dla niej odpowiedni system objaśnień, który będzie połączony z tą siecią i może posłużyć do wyjaśnienia wyników działania sieci.

Pracę z modułem Dia\_Wiki rozpoczynamy od okna głównego systemu. Po wyborze w menu systemu DiaDyn odsyłacza Dia\_Wiki (Rys. 4.1) użytkownik zostanie przekierowany do tego modułu.



Rys. 4.1: Okno główne systemu DiaDyn

W oknie głównym modułu Dia\_Wiki, użytkownik ma do wyboru projekty, które może przeglądać, jak również te które może jedynie poddawać edycji (Rys. 4.2). W celu edycji zasobów dostępnych w ramach danego projektu, należy wybrać z listy dostępnych projektów jeden i przejść do kolejnego okna przedstawiającego zbiór wszystkich zasobów dostępnych w tym projekcie (Rys. 4.3).

W oknie projektu widoczne są utworzone w ramach tego projektu zasoby. Zasoby projektu obejmują między innymi utworzone w jego ramach:

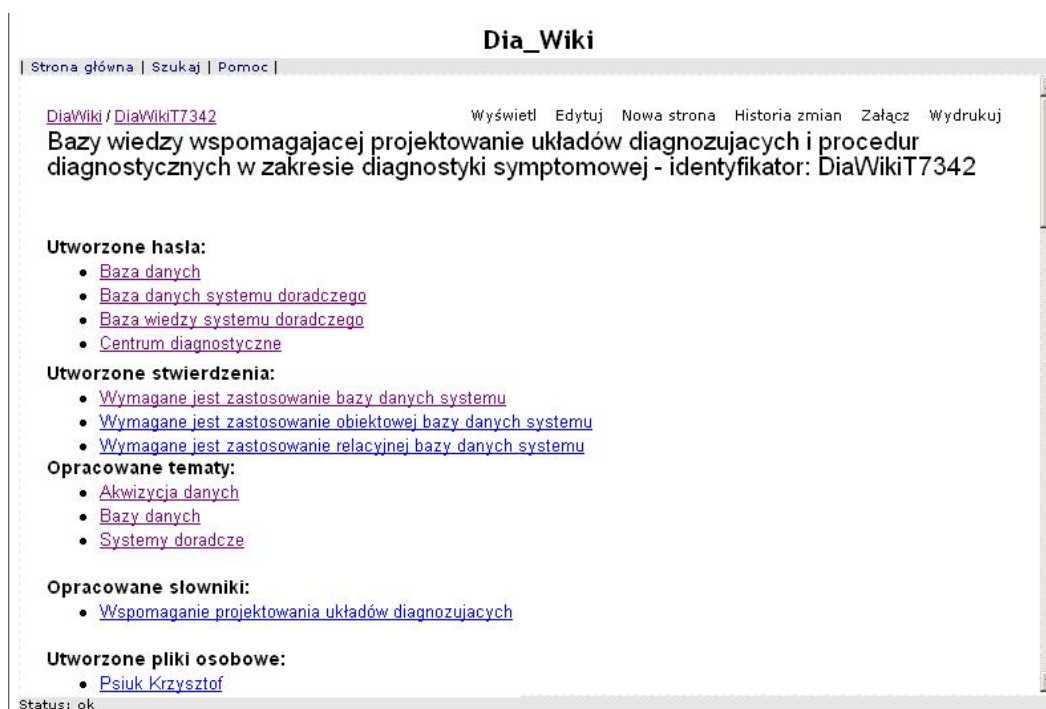
- hasła,
- stwierżenia,
- tematy,
- słowniki,
- dane osobowe dotyczące autorów zasobów,
- spis źródeł literaturowych,
- dołączone do projektu pliki.

Poszczególne fragmenty zasobów są pogrupowane i posortowane alfabetycznie. Każdy z elementów należących do danej grupy zasobów jest dostępny jako odsyłacz do strony, na której znajduje się jego szczegółowy opis.

W górnej części okna modułu Dia\_Wiki znajduje się menu tego modułu. Poszczególne elementy tego menu umożliwiają:



Rys. 4.2: Okno główne modułu Dia\_Wiki



Rys. 4.3: Okno widoku zasobów projektu

- Wyświetl - podgląd treści zasobu,
- Edycja - przełączenie w tryb edycji danej strony,
- Nowa strona - dodawanie nowych zasobów do danego projektu,
- Historia zmian - włączenie trybu podglądu historii zmian przeprowadzonych w danym zasobie,
- Załącz - uruchomienie procedury przesłania pliku do modułu Dia\_Wiki,
- Wydrukuj - przejście do podglądu treści zasobu w uproszczonej formie przeznaczonej do wydruku.

Postać tego menu zależy od uprawnień danego użytkownika i niektóre pozycje mogą być niedostępne.

### 4.2.1. Definiowanie zasobów w module Dia\_Wiki

Definiowanie zasobów w module Dia\_Wiki odbywa się ramach danego projektu, wybranego wcześniej do przeglądania lub edycji. W celu zdefiniowania nowego zasobu z menu modułu Dia\_Wiki należy wybrać pozycję *Nowa strona*. Po wybraniu tej pozycji na ekranie ukaże się okno przedstawione na Rys. 4.4.

**Dia\_Wiki**

Strona główna | Szukaj | Pomoc |

Wyświetl | Edytuj | Nowa strona | Historia zmian | Załącz | Wydrukuj

**Nowa strona - identyfikator: NewPage**

Formularz pozwala na tworzenie nowych stron. W polu edycyjnym należy wpisać identyfikator nowej strony. Identyfikatorem mogą być tylko litery i cyfry. Wprowadzone identyfikatory będzie można wykorzystać w treści innych stron jako odsyłacze. Identyfikatorzy różnych typów będą poprzedzone odpowiednim przedrostkiem.

Utwórz nową stronę, jako:

- Stwierdzenie - podaj identyfikator stwierdzenia i kliknij przycisk utwórz  
 Utwórz
- Hasło - podaj identyfikator hasła i kliknij przycisk utwórz  
 Utwórz
- Źródło - podaj identyfikator pozycji literaturowej i kliknij przycisk utwórz  
 Utwórz
- Temat - podaj identyfikator tematu i kliknij przycisk utwórz  
 Utwórz
- Słownik - podaj identyfikator słownika i kliknij przycisk utwórz  
 Utwórz
- Osoba - podaj identyfikator osoby i kliknij przycisk utwórz  
 Utwórz

**Uwaga !**

1. Strony mogą być tworzone tylko za pomocą tego formularza. Strony utworzone przez ten formularz nadają odpowiednie nazwy plikom modułu Dia\_Wiki.
2. Strony utworzone w inny sposób, niezgodnie z określonym formatem nazw plików będą usuwane.

**Dodaj komentarz**

**Podpis autora** Krzysztof Psiuk

**Wprowadź kod 131**

Rys. 4.4: Widok menu *Nowa strona*

W oknie tym przedstawione są następujące opcje:

- stwierdzenie - definiujemy treść stwierdzenia i jego opis,
- hasło - daje możliwość definicji nowego hasła,
- źródło - pozwala na zdefiniowanie nowej pozycji literaturowej,
- temat - umożliwia zdefiniowanie tematu, który jest uporządkowanym zbiorem haseł,
- słownik - umożliwia przygotowanie nowego zbioru stwierdzeń,
- osoba - pozwala na przygotowanie strony z informacjami o autorze zasobów.

W celu rozpoczęcia definiowania nowego zasobu należy w odpowiednim oknie edycyjnym formularza dostępnego na tej stronie wprowadzić identyfikator zasobu i zatwierdzić rozpoczęcie wykonania operacji przez wybór odpowiedniego przycisku *Utwórz* znajdującego się obok każdego z pól edycyjnych. Jako identyfikator danego zasobu należy wprowadzić dowolny ciąg znaków alfabetu łacińskiego i/lub cyfr, zaczynający się od litery. Niedopuszczalne są natomiast znaki specjalne, jak np. znak

podkreślenia ( \_ ), myślnika ( - ) czy spacji ( ). Nie można również stosować znaków specyficznych dla języka polskiego. Zaleca się, aby jako identyfikator stosować nazwy odnoszące się do nazwy stwierżenia, hasła itd. Dla poprawnego działania systemu DiaDyn, do każdego zasobu utworzonego za pośrednictwem tej strony, system automatycznie dopisze na początku każdego identyfikatora cztery dodatkowe znaki, umożliwiające identyfikację danego zasobu w systemie. Pełny identyfikator jest zawsze widoczny w górnej części strony z tworzonym zasobem, pod nazwą *identyfikator*, znajdujący się obok tytułu strony. We wszystkich odwołaniach do danego zasobu należy stosować pełną nazwę identyfikatora, uzupełnioną o dodatkowe znaki wprowadzone przez system.

#### 4.2.2. Definiowanie stwierżenia

Definiowanie nowego stwierżenia rozpoczyna się od utworzenia *Nowej strony* i nadaniu temu stwierżeniu odpowiedniego identyfikatora. Po wybraniu przycisku *Utwórz*, system przekieruje użytkownika do kolejnej strony, na której będzie można wprowadzić szczegóły dotyczące nowego stwierżenia. Okno definiowania nowego stwierżenia przedstawiono na rys. 4.6.

W celu zdefiniowania nowego stwierżenia należy wypełnić przynajmniej dwa pola: *Tytuł stwierżenia* oraz *Treść stwierżenia*. Najczęściej tytuł stwierżenia jest tożsamy z treścią stwierżenia. Jeżeli stwierżenie wymaga wprowadzenia wyjaśnień, to konieczne może okazać się uzupełnienie opisu stwierżenia. Ważne jest również wprowadzenie autora definiującego dane stwierżenie.

**Dia\_Wiki**

Strona główna | Szukaj | Pomoc |

[DiaWiki](#) / [DiaWikiTEST](#) Wyświetl | Edytuj | Nowa strona | Historia zmian | Załącz | Wydrukuj

**- identyfikator:**  
**Edycja strony DiaWikiTEST.StwTemperaturaWysoka**

Tytuł:

!!Treść  
 Tu wpisz treść stwierżenia.

!!Opis  
 Tu należy wpisać opis stwierżenia.

!!Bibliografia  
 Tu należy podać literaturę.

!!Autorzy  
 Tu należy wpisać autorów stwierżenia.

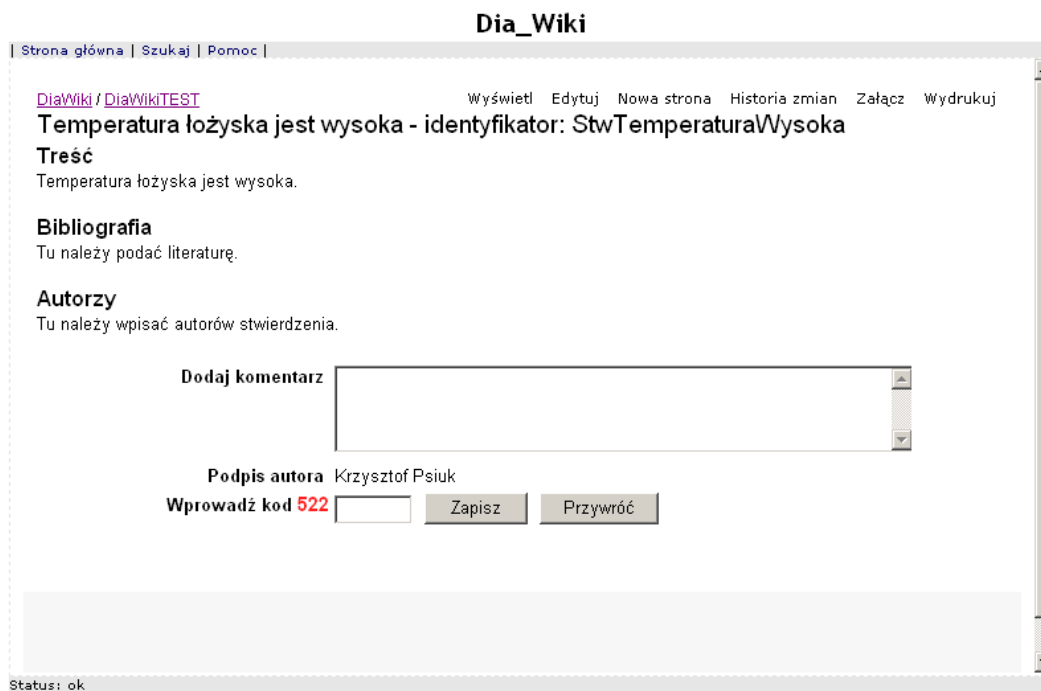
{:if false :} Poniżej należy umieścić odsyłacze do słowników, do których należy stwierżenie{:if:}

Opis zmian:

Autor: Krzysztof Psiuk  Wprowadzono tylko drobne zmiany

Rys. 4.5: Definiowanie stwierżenia

Po wykonaniu tych operacji należy wybrać opcję *Zapisz* w celu zachowania wprowadzonych zmian. Nowo utworzone stwierżenie zostanie automatycznie dopisane do listy stwierżeń utworzonych w ramach danego projektu. W dowolnym momencie możliwy jest również powrót do edycji danego stwierżenia w celu wprowadzenia zmian lub poprawek w jego tytule lub treści. Elementem, którego nie da się zmienić jest jedynie identyfikator stwierżenia.



Rys. 4.6: Definicja stwierdzenia

### 4.2.3. Łączenie stwierdzeń w słownik

W module Dia\_Wiki można utworzyć również *Słownik*, który jest elementem zasobów, gromadzącym stwierdzenia dotyczące określonego zagadnienia. W słowniku powinny znaleźć się te wszystkie stwierdzenia, które mają być węzłami jednej sieci stwierdzeń. Słownik łączy poszczególne stwierdzenia w jeden zbiór, uporządkowany wg zdefiniowanej listy. W systemie DiaDyn możliwe jest wielokrotne wystąpienie tego samego stwierdzenia jednocześnie w kilku słownikach.

Definiowanie nowego Słownika rozpoczyna się od wybrania z menu modułu Dia\_Wiki pozycji *Nowa strona*. Po wybraniu tej opcji menu na ekranie ukaże się znana już postać strony (4.4), służącej do definiowania nowych zasobów modułu Dia\_Wiki. Podobnie jak było to w przypadku definiowania stwierdzeń należy w odpowiednim polu wprowadzić identyfikator słownika i wybrać przycisk *Utwórz*. Po wybraniu przycisku *Utwórz*, ukaże się okno edycyjne umożliwiające zdefiniowanie nowego słownika. W celu zdefiniowania nowego słownika należy:

1. W polu *Tytuł* wpisać nazwę nowo tworzonego słownika.
2. W polu *Opis* należy wprowadzić charakterystykę nowego słownika.
3. W polu *Lista stwierdzeń* należy wprowadzić w postaci listy, odsyłacze do identyfikatorów wszystkich stwierdzeń, które mają być elementami tego słownika. Listę definiuje się rozpoczynając linię od znaku \*. Odsyłacz do stwierdzenia definiujemy przez wpisanie pomiędzy znaki [[ oraz ]], identyfikatora danego stwierdzenia np.:  
\* [[ StwTemperaturaWysoka | + ]]  
Znak + umieszczony za identyfikatorem oznacza, że jako tekst odsyłacza pojawi się tytuł wprowadzony przy definiowaniu stwierdzenia.
4. Zapisanie wprowadzonych zmian należy zatwierdzić przez wybranie przycisku *Zapisz*.

W polu *Tytuł*, wpisujemy tytuł definiowanego Słownika. W miejscu *Opis* należy wpisać charakterystykę Słownika, a w miejscu *Lista stwierdzeń*, należy utworzyć listę odsyłaczy do stron z stwierdzeniami, które mają należeć do danego Słownika. Lista ta definiuje kolejność, wg której stwierdzenia będzie można przeglądać. Po wykonaniu tych czynności zapisujemy wprowadzone zmiany. Kolejną czynnością jest dopisanie do każdego stwierdzenia odpowiedniego odsyłacza, z informacją o



Rys. 4.7: Definiowanie słownika

słowniku, do którego ma ono należeć. W tym celu otwieramy wybrane Stwierzenie i przechodzimy w tryb edycji. Na końcu dodajemy linijkę wg następującego formatu:

```
<<|[[ IdentyfikatorSłownika | + ]]|>>
```

i zapisujemy wprowadzone zmiany. Taką samą operację należy powtórzyć dla wszystkich stwierżeń należących do danego Słownika.

#### 4.2.4. Definiowanie hasła

Definiowanie hasła odbywa się podobnie jak w przypadku stwierżenia. Należy rozpocząć od wybrania z Menu pozycji *Nowa strona*. Po wybraniu tej pozycji menu, system otworzy stronę znaną już z wcześniejszych działań (Rys. 4.4). Na stronie tej należy odszukać pole *hasło*, w które należy wprowadzić identyfikator nowo tworzonego hasła. Zasady nadawania identyfikatorów są takie same jak w przypadku stwierżeń. Po wprowadzeniu identyfikatora należy wybrać przycisk *Utwórz*, po czym system przekieruje użytkownika do kolejnej strony. Na stronie tej będzie można wprowadzić szczegóły dotyczące nowego hasła. Okno definiowania nowego hasła przedstawiono na rys. 4.7.

Edycję nowego hasła przeprowadza się przez wypełnienie dwóch pól formularza:

- pole *Tytuł*,
- pole *Opis*.

Definiowanie nowego hasła należy rozpocząć od wypełnienia pola *Tytuł*. Tytuł hasła może być bądź pojedynczym słowem lub też całym zwrotem. Po wprowadzeniu tytułu, należy uzupełnić treść hasła wypełniając pole *Opis*. Treść hasła powinna w sposób wyczerpujący objaśniać znaczenia danego słowa lub zwrotu. W tym celu często wykorzystywane są elementy dodatkowe jak: wzory, rysunki, filmy itp. W systemie DiaDyn istnieje możliwość wprowadzenia do opisu hasła zarówno wzorów matematycznych, jak również rysunków, zdjęć czy filmów. Przykład takiej strony z opisem hasła przedstawiono na rys. 4.9. Szczegóły dotyczące formatowania tekstu oraz dołączania tego typu dodatków można znaleźć w opisie oprogramowania PmWiki [4.3]. Na końcu opisu należy wprowadzić odsyłacz do autora opisu oraz do wykorzystanych pozycji literaturowych.

Zakończenie edycji danego hasła odbywa się przez wybór opcji *Zapisz*. Nowo utworzone hasło zostanie automatycznie dopisane do listy haseł utworzonych w ramach danego projektu. W dowolnym



**Dia\_Wiki**

Strona główna | Szukaj | Pomoc

Wyświetl | Edytuj | Nowa strona | Historia zmian | Załącz | Wydrukuj

[DiaWiki / DiaWikiRMT61083](#)

**Falowniki - identyfikator: StrHFal**

Edycja strony DiaWikiRMT61083.StrHFal

Tytuł: Falowniki

```

!!Opis
'''Falownikami''' nazywa się urządzenia elektryczne zamieniające prąd stały, którym są zasilane, na prąd
przebiegienny o regulowanej częstotliwości wyjściowej z proporcjonalnie zmieniającym się napięciem
wyjściowym ([[8->http://www.wikipedia.pl]]). Wyróżnia się falowniki napięcia i falowniki prądowe.
Falowniki napięcia zasilane są ze źródła napięciowego - na wejściu falownika jest kondensator
(ewentualnie bateria kondensatorów) o dużej pojemności.\\
Falowniki prądowe nie są proponowane przez niniejszy system doradczy, gdyż ich zastosowanie jest
stosunkowo wąskie-obejmuje bowiem tylko pewną grupę napędów elektrycznych średniej mocy.\\
Falowniki oprócz ich podstawowego zadania - czyli regulacji prędkości obrotowej, pozwalają na kontrolę
wielu parametrów silnika, co zdecydowanie poprawia jakość funkcjonowania takiego silnika i wydłuża czas
jego eksploatacji ([[7->http://www.silnikielektryczne.prv.pl]]).\\
Falowniki trójfazowe o [[sterowaniu skalarnym->StrHSteSkal]] zalecane są dla małego zakresu regulacji
prędkości obrotowych.\\
Falowniki trójfazowe o [[sterowaniu wektorowym->StrHSteWek]] zalecane są dla dużego zakresu regulacji
prędkości obrotowych ([[6->ZroPolwent]]).\\
Poniżej przedstawiono przykład falownika firmy Sew Eurodrive ([[10->http://www.sew.pl]]).

<center>{{Attach:Falownik.gif | Rys.1. Przykład falownika Movitrac 07 firmy Sew Eurodrive ([[10->http://
www.sew.pl]])

'''Proste uruchomienie:'''
* Uruchomienie za pomocą wbudowanej klawiatury,
* Automatyczne dopasowanie silnika,

```

Opis zmian:

Rys. 4.8: Definiowanie hasła - Edycja

**Dia\_Wiki**

Strona główna | Szukaj | Pomoc

Wyświetl | Edytuj | Nowa strona | Historia zmian | Załącz | Wydrukuj

[DiaWiki / DiaWikiRMT61083](#)

**Falowniki - identyfikator: StrHFal**

**Opis**

**Falownikami** nazywa się urządzenia elektryczne zamieniające prąd stały, którym są zasilane, na prąd przebiegienny o regulowanej częstotliwości wyjściowej z proporcjonalnie zmieniającym się napięciem wyjściowym <sup>(8)</sup>. Wyróżnia się falowniki napięcia i falowniki prądowe. Falowniki napięcia zasilane są ze źródła napięciowego - na wejściu falownika jest kondensator (ewentualnie bateria kondensatorów) o dużej pojemności.

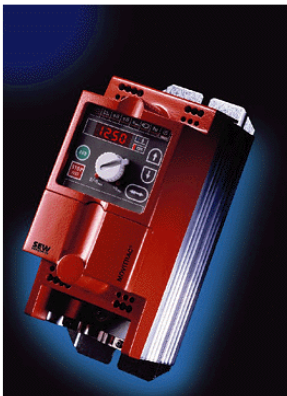
Falowniki prądowe nie są proponowane przez niniejszy system doradczy, gdyż ich zastosowanie jest stosunkowo wąskie-obejmuje bowiem tylko pewną grupę napędów elektrycznych średniej mocy.

Falowniki oprócz ich podstawowego zadania - czyli regulacji prędkości obrotowej, pozwalają na kontrolę wielu parametrów silnika, co zdecydowanie poprawia jakość funkcjonowania takiego silnika i wydłuża czas jego eksploatacji <sup>(7)</sup>.

Falowniki trójfazowe o [sterowaniu skalarnym](#) zalecane są dla małego zakresu regulacji prędkości obrotowych.

Falowniki trójfazowe o [sterowaniu wektorowym](#) zalecane są dla dużego zakresu regulacji prędkości obrotowych <sup>(6)</sup>.

Poniżej przedstawiono przykład falownika firmy Sew Eurodrive <sup>(10)</sup>.



Rys.1. Przykład falownika Movitrac 07 firmy Sew Eurodrive <sup>(10)</sup>

Status: ok

Rys. 4.9: Definiowanie hasła - Podgląd

momencie możliwy jest również powrót do edycji danego hasła w celu wprowadzenia zmian lub poprawek w jego tytule lub treści. Jedynym elementem, którego nie da się zmienić jest identyfikator hasła.



#### 4.2.5. Łączenie haseł w tematy

Podobnie jak ma to miejsce w przypadku stwierdzeń, hasła również można łączyć w pewne zbiory, nazywane *Tematami*. *Temat* jest zbiorem haseł opisujących pewną dziedzinę wiedzy lub przedstawiających określone zagadnienie. Gromadzi on grupę haseł w jakiś sposób powiązanych ze sobą. Hasła mogą być łączone w tematy w dowolny sposób. Brak również ograniczeń na liczbę wystąpień danego hasła, które może być elementem wielu różnych tematów.

Definiowanie nowego *Tematu* rozpoczyna się, podobnie jak miało to miejsce w przypadku *Słowników*, od wybrania z menu modułu Dia\_Wiki pozycji *Nowa strona*. Wybranie tej opcji menu powoduje przejście systemu do strony służącej do definiowania nowych zasobów modułu Dia\_Wiki (4.4). Podobnie jak wcześniej należy w odpowiednim polu wprowadzić identyfikator *Tematu* i wybrać przycisk *Utwórz*. W tym przypadku identyfikator *Tematu* należy wprowadzić w polu z opisem *Temat*. Po wybraniu przycisku *Utwórz*, ukaze się okno edycyjne umożliwiające zdefiniowanie nowego tematu. W celu zdefiniowania nowego tematu należy:

1. W polu *Tytuł* wpisać nazwę nowo tworzonego tematu.
2. W polu *Opis* należy wprowadzić charakterystykę nowego tematu.
3. W polu *Lista haseł* należy wprowadzić w postaci listy, odsyłacze do identyfikatorów wszystkich haseł, które mają być połączone w jeden temat. Listę definiuje się rozpoczynając linię od znaku \*. Odsyłacz do hasła definiuje się przez wpisanie pomiędzy znaki [[ oraz ]], identyfikatora danego hasła np.:  
\* [[ StrHFal | + ]]  
Znak + umieszczony za identyfikatorem oznacza, że jako tekst odsyłacza pojawi się tytuł wprowadzony przy definiowaniu hasła.
4. Zapisanie wprowadzonych zmian należy zatwierdzić przez wybranie przycisku *Zapisz*.

W polu *Tytuł*, wpisujemy tytuł definiowanego *Tematu*. W miejscu *Opis* należy wpisać charakterystykę *Tematu*, a w miejscu *Lista haseł*, należy utworzyć listę odsyłaczy do stron z hasłami, które mają należeć do danego *Tematu*. Lista ta definiuje kolejność, wg jakiej hasła będzie można przeglądać. Po wykonaniu tych czynności zapisujemy wprowadzone zmiany. Kolejną czynnością jest dopisanie do każdego hasła odpowiedniego odsyłacza, z informacją o Temacie, do którego ma ono należeć. W tym celu otwieramy wybrane hasło i przechodzimy w tryb jego edycji. W trybie edycji należy dopisać na końcu opisu hasła wiersz wg następującego formatu:

```
<<|[[ IdentyfikatorTematu | +]]|>>
```

Wprowadzone zmiany należy zapisać. Taką samą operację należy powtórzyć dla wszystkich haseł należących do danego *Tematu*.

Edycję *Tematu* można przeprowadzać w dowolnym momencie. Można więc rozbudowywać opisy haseł jak i same hasła będące elementami danego tematu rozbudowywać lub zwiększać liczbę haseł w temacie.

### 4.3. Podsumowanie

Moduł Dia\_Wiki jest elementem systemu DiaDyn, umożliwiającym przygotowanie zestawu stwierdzeń, z których w kolejnym kroku będzie przygotowywana sieć stwierdzeń. Dodano również możliwość opracowywania haseł z opisem dodatkowych zwrotów stosowanych w stwierdzeniach, co umożliwia opracowanie w pełni funkcjonalnego systemu objaśnień. System objaśnień może stanowić podstawę zapisu pewnej wiedzy na określony temat, ale również może być wykorzystany do przygotowania objaśnień wyników procesu wnioskowania. Umożliwia to zarówno wprowadzanie opisów w samych stwierdzeniach, jak również przygotowanie odpowiedniego zestawu tematów wyjaśniających dane stwierdzenie lub zagadnienie.

## Bibliografia

- [4.1] Cholewa W. Ogólna koncepcja systemu DIADYN. Cholewa W., redaktor, *Warsztaty DIADYN. Materiały seminaryjne. wydanie II, poprawione i uzupełnione*, strony 4–14. Katedra PKM Politechniki Śląskiej, Ustroń, 2006-09-23.
- [4.2] Cholewa W. Systemy doradcze w diagnostyce technicznej. Korbicz J., Kościelny J. M., Kowalczyk Z., Cholewa W., redaktorzy, *Diagnostyka procesów. Modele, metody sztucznej inteligencji, zastosowania*, strony 543–580. WNT, Warszawa 2002.
- [4.3] Dokumentacja systemu PmWiki. <http://www.pmwiki.org>.

# Rozdział 5

## Konstruowanie sieci stwierdzeń

Krzysztof PSIUK

### 5.1. Wprowadzenie

W rozdziale 4 opisano zagadnienia związane z przygotowaniem słownika stwierdzeń, który będzie podstawą do budowy sieci stwierdzeń. Po zakończeniu opracowywania wszystkich zasobów związanych z danym słownikiem, obejmujących między innymi opracowanie samych stwierdzeń, haseł i tematów użytkownik przekazuje informację do administratora systemu, który przygotowuje procedury umożliwiające wykorzystanie opracowanego słownika do budowy sieci stwierdzeń.

Dla potrzeb związanych z konstruowaniem sieci stwierdzeń [5.2] oraz ich uruchamianiem, w systemie DiaDyn [5.1] przygotowano kolejny moduł o nazwie Dia\_Sta. Moduł Dia\_Sta pozwala na konstruowanie sieci stwierdzeń, przygotowanie postaci, w jakiej będą przedstawiane wyniki działania takiej sieci, a także uruchamianie procesu wnioskowania na podstawie opracowanej sieci stwierdzeń. Moduł Dia\_Sta jest dostępny dla użytkowników systemu Diadyn z poziomu menu głównego tego systemu, znajdującego się w lewej części okna (rys. 5.1).



Rys. 5.1: Okno główne systemu DiaDyn

Po wybraniu tej pozycji menu, system otworzy okno z menu głównym modułu Dia\_Sta. W mo-

dule Dia\_Sta można wykonywać dwa rodzaje zadań: konstruować sieci stwierdzeń, oraz definiować i uruchamiać zadania związane z procesem wnioskowania. Menu tego modułu składa się z dwóch pozycji (7.1):

- *Zadania*,
- *Stwierdzenia*.

Pozycja *Zadania* obejmuje wszystkie zagadnienia związane z wykonywaniem działań przewidzianych do przygotowywania i uruchamiania procesu wnioskowania.

Pozycja *Stwierdzenia* obejmuje grupę działań związanych z:

- konstruowaniem sieci stwierdzeń,
- definiowaniem tablic prawdopodobieństw warunkowych (dla obliczeń wykonywanych z użyciem sieci przekonań),
- definiowaniem drzewa.

W dalszej części tego rozdziału zostanie opisany proces konstruowania sieci stwierdzeń oraz metoda uruchamiania procesu wnioskowania.

## 5.2. Konstruowanie sieci stwierdzeń

System DiaDyn, jest systemem otwartym i umożliwia przeprowadzenie procesu wnioskowania w oparciu o różne metody. Jedną z metod jest wnioskowanie oparte na sieciach przekonań, nazywanych również sieciami Bayesa. Definiowanie nowej sieci stwierdzeń nie jest związane bezpośrednio z metodą wnioskowania wybieraną przez użytkownika tego systemu w trakcie definiowania nowej sieci. Dlatego też przedstawiony zostanie opis dotyczący tworzenia samej sieci stwierdzeń, niezależnie od wybranej metody wnioskowania. Definiowanie nowej sieci stwierdzeń rozpoczynamy od wybrania słownika stwierdzeń. W celu zilustrowania sposobu konstruowania sieci stwierdzeń, w module Dia\_Wiki przygotowano bardzo prosty słownik stwierdzeń, składający się z trzech stwierdzeń (5.2):

1. Maleje poziom wody w zbiorniku,
2. Zamknięty zawór odpływowy,
3. Stwierdzono wyciek.



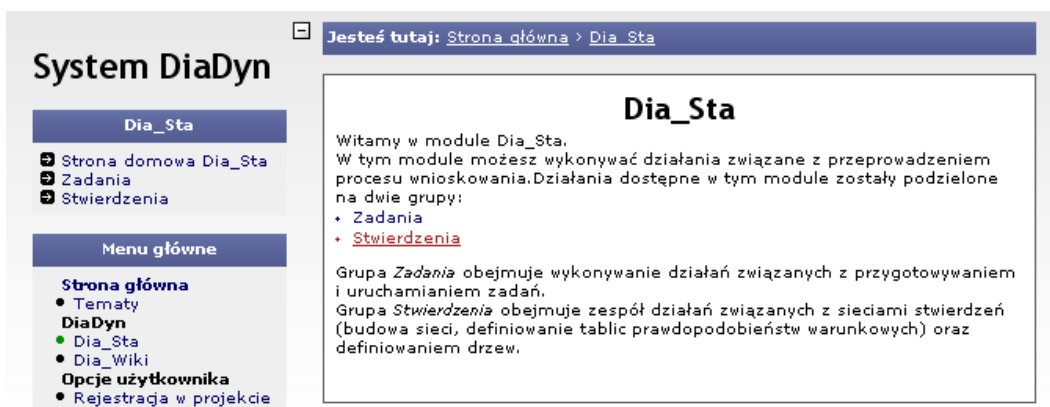
Rys. 5.2: Przykładowy słownik stwierdzeń

Słownik ten zostanie użyty do omówienia zasad konstruowania sieci stwierdzeń.

Konstruowanie sieci stwierdzeń składa się z kilku etapów:

- wybór słownika stwierdzeń, stanowiącego podstawę opracowania sieci,
- ustalenie relacji pomiędzy węzłami sieci,
- określenie tablic prawdopodobieństw warunkowych dla poszczególnych węzłów sieci.

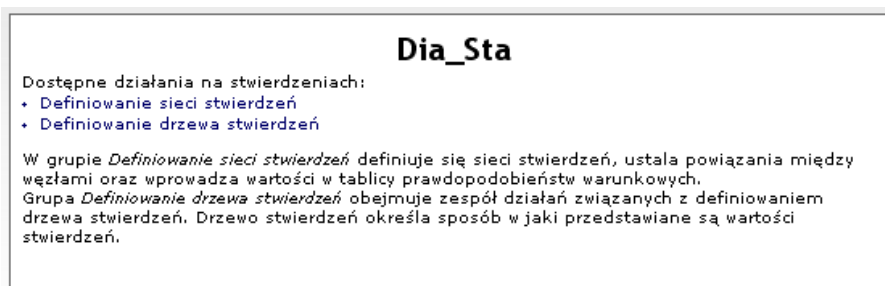
Sieć stwierdzeń opisuje relacje występujące pomiędzy poszczególnymi węzłami. Węzłami sieci stwierdzeń są stwierdzenia, a wartościami węzłów są stopnie przekonania o prawdziwości danego stwierdzenia. Przed przystąpieniem do konstruowania sieci, należy więc rozważyć w jaki sposób należy połączyć poszczególne węzły sieci oraz określić jaki wpływ mają mieć poszczególne węzły sieci na siebie.



Rys. 5.3: Okno główne modułu Dia\_Sta

Projektowanie nowej sieci stwierdzeń rozpoczynamy od utworzenia nowej sieci. W tym celu należy z menu modułu Dia\_Sta wybrać pozycję *Stwierdzenia* (rys. 5.3). Wybór tej pozycji menu pozwala na wykonywanie działań na stwierdzeniach, w kontekście konstruowania sieci stwierdzeń. Po wyborze tej opcji menu, pojawia się kolejne okno, w którym należy wybrać jaką grupę działań na stwierdzeniach będzie wykonywana w kolejnym kroku. Dostępne są dwie grupy działań (rys. 5.4):

- Definiowanie sieci stwierdzeń,
- Definiowanie drzewa stwierdzeń.



Rys. 5.4: Wybór działań na stwierdzeniach

Pierwsza grupa działań obejmuje wszystkie zadania związane z konstruowaniem sieci stwierdzeń, połączeń pomiędzy poszczególnym węzłami, określaniem wartości węzłów oraz tablic prawdopodobieństw warunkowych. Druga grupa zadań jest związana ze sposobem przedstawienia konstruowanej sieci stwierdzeń.

Aby rozpocząć konstruowanie nowej sieci stwierdzeń należy wybrać opcję *Definiowanie sieci stwierdzeń*. W kolejnym oknie pojawi się lista zdefiniowanych sieci stwierdzeń, na końcu której zawsze pojawia się pozycja *Dodaj nową sieć* (rys. 5.5).

Jeżeli w systemie będą znajdowały się zdefiniowane wcześniej sieci stwierdzeń, to pojawią się one na tej liście. Wybranie takiej sieci umożliwi przeprowadzenie jej edycji. Jeżeli w systemie nie ma żadnej zdefiniowanej wcześniej sieci, to należy wybrać pozycję *Dodaj nową sieć*. Wybór tej pozycji powoduje uruchomienie procedury tworzenia nowej sieci stwierdzeń. W pierwszym kroku należy wykonać następujące operacje dotyczące nowo tworzonej sieci stwierdzeń (rys. 5.6):

**Dia\_Sta**

Wybierz sieć, którą chcesz edytować lub utwórz nową sieć przez wybranie opcji *Dodaj nową sieć*.

Lista zdefiniowanych sieci

Lp.	Nazwa sieci
1.	Dodaj nową sieć

Powrót

Rys. 5.5: Definiowanie nowej sieci stwierżeń

- podać nazwę sieci,
- określić typ sieci,
- wybrać słownik stwierżeń.

Nazwa sieci może być dowolnym ciągiem znaków i cyfr, włączając w to również znaki specjalne języka polskiego. System nie sprawdza, czy dana nazwa sieci jest unikalna w systemie, w związku z tym należy zwrócić uwagę na odpowiednie nazwanie projektowanej przez siebie sieci stwierżeń, aby można ją było odszukać później w systemie.

**Dia\_Sta**

Definiowanie nowej sieci stwierżeń. Krok 1.

Podaj opis sieci:

Typ sieci:

Słownik stwierżeń:

Dalej

Powrót

Rys. 5.6: Definiowanie nowej sieci stwierżeń. Krok 1

Wybór typu sieci wiąże się z określeniem metody wnioskowania, która będzie użyta do analizy sieci. Wybór typu sieci dokonywany jest z listy dostępnych w systemie metod wnioskowania. Wybór słownika stwierżeń, wiąże się z określeniem grupy stwierżeń, które będą węzłami nowej sieci. Słownik stwierżeń wybierany jest z listy słowników dostępnych w systemie. Tworzenie nowej sieci kończymy zatwierdzając wprowadzone informacje przez wybranie przycisku *Dalej*. Jeżeli przy tworzeniu nowej sieci system nie stwierdzi żadnych błędów, na ekranie pojawi się komunikat potwierdzający utworzenie nowej sieci (rys. 5.7). Po utworzeniu nowej sieci należy wybrać przycisk *Powrót*, aby powrócić do listy utworzonych sieci.

**Dia\_Sta**

Definiowanie nowej sieci stwierżeń. Krok 2.

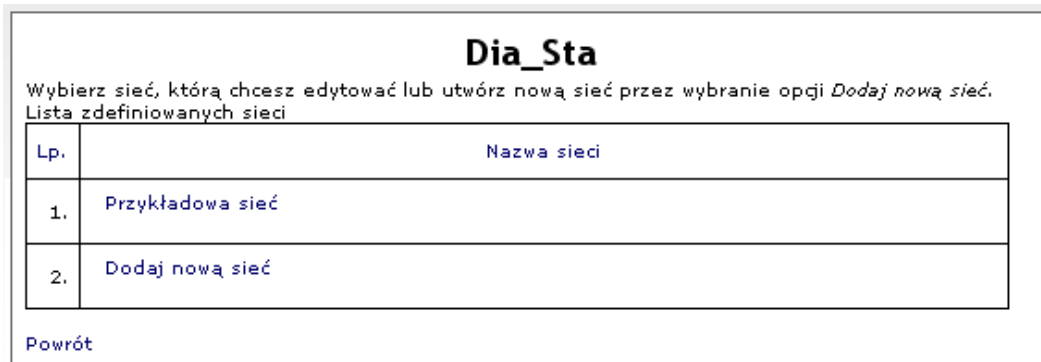
Nowa sieć została utworzona.

Powrót

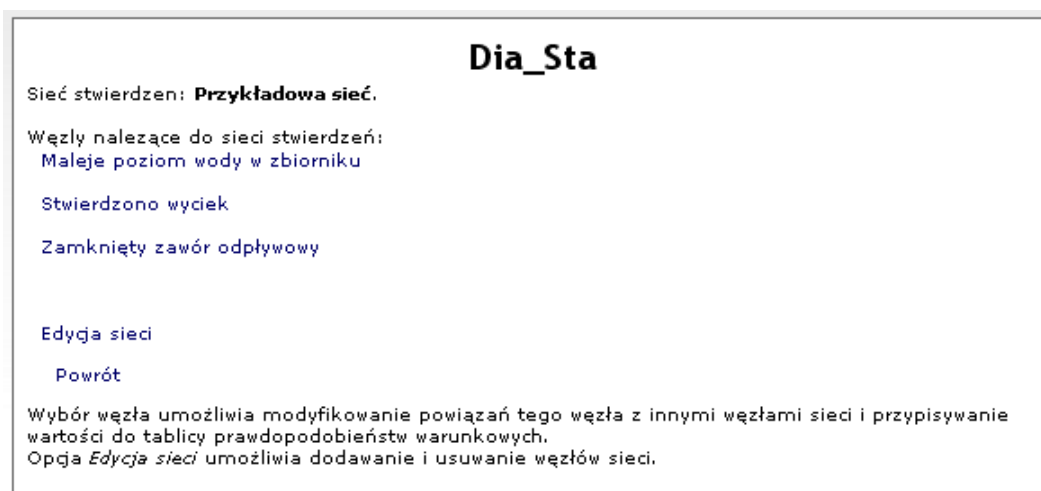
Rys. 5.7: Definiowanie nowej sieci stwierżeń. Krok 2

Kolejnym etapem konstruowania sieci stwierżeń jest określenie powiązań między poszczególnymi węzłami sieci. W tym celu po powrocie do listy sieci należy odszukać utworzoną sieć stwierżeń i wybrać ją do edycji (rys. 5.8).

Edycja sieci polega na określeniu, które stwierżenia mają stać się węzłami sieci, określeniu relacji pomiędzy węzłami sieci oraz wprowadzeniu wartości prawdopodobieństw warunkowych.



Rys. 5.8: Wybór sieci do edycji



Rys. 5.9: Okno edycji sieci

Na rys. 5.9 przedstawiono widok okna edycji konstruowanej sieci. W oknie edycji sieci przedstawione są wszystkie węzły sieci stwierżeń, czyli wybrane stwierdzenie, które stały się węzłami sieci. Domyślnie w czasie definiowania nowej sieci stwierżeń system automatycznie dopisuje wszystkie stwierdzenia występujące w słowniku do sieci. Poniżej umieszczono odsyłacze *Edycja sieci* oraz *Powrót*. Wybranie odsyłacza *Edycja sieci* umożliwi wprowadzanie zmian dotyczących stwierżeń, które mają być węzłami sieci. Z dostępnej listy stwierżeń można dodawać stwierdzenia do sieci lub usuwać węzły z sieci. Na liście stwierżeń występują tylko te stwierdzenia, które nie są aktualnie węzłami sieci. W celu przeprowadzenia zmian utworzono dwie listy. Jedną zawierającą stwierdzenia dostępne w słowniku stwierżeń skojarzonym z siecią, drugą zawierającą aktualne węzły konstruowanej sieci. Za pomocą strzałek znajdujących się pomiędzy tymi listami można wybierać i przenosić stwierdzenia pomiędzy tymi dwoma listami (rys. 5.10).

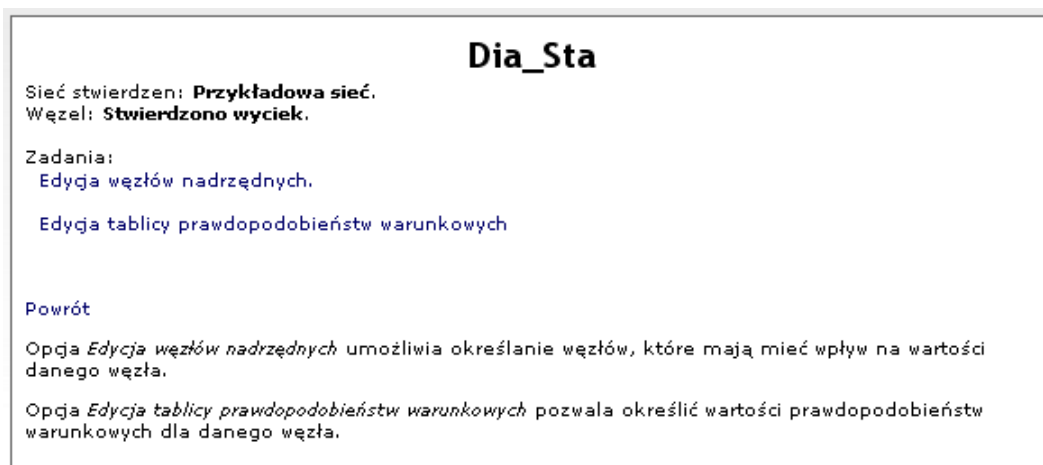
Definiowanie relacji pomiędzy poszczególnymi węzłami oraz wprowadzanie wartości węzła odbywa się indywidualnie dla każdego węzła. W tym celu należy z listy węzłów dostępnych w danej sieci (rys. 5.9) wybrać odsyłacz do wybranego węzła. Po wybraniu węzła system otworzy nowe okno umożliwiające (rys. 5.11):

- edycję węzłów nadrzędnych,
- edycję tablicy prawdopodobieństw warunkowych.

Wybór opcji *Edycja węzłów nadrzędnych* umożliwi wybranie tych węzłów sieci, od których zależą wartości modyfikowanego węzła. Określa się rodziców danego węzła. Modyfikowanie tego parametru węzła, odbywa się przez przenoszenie węzłów pomiędzy dwoma listami: listą dostępnych



Rys. 5.10: Modyfikacja węzłów sieci stwierdzeń

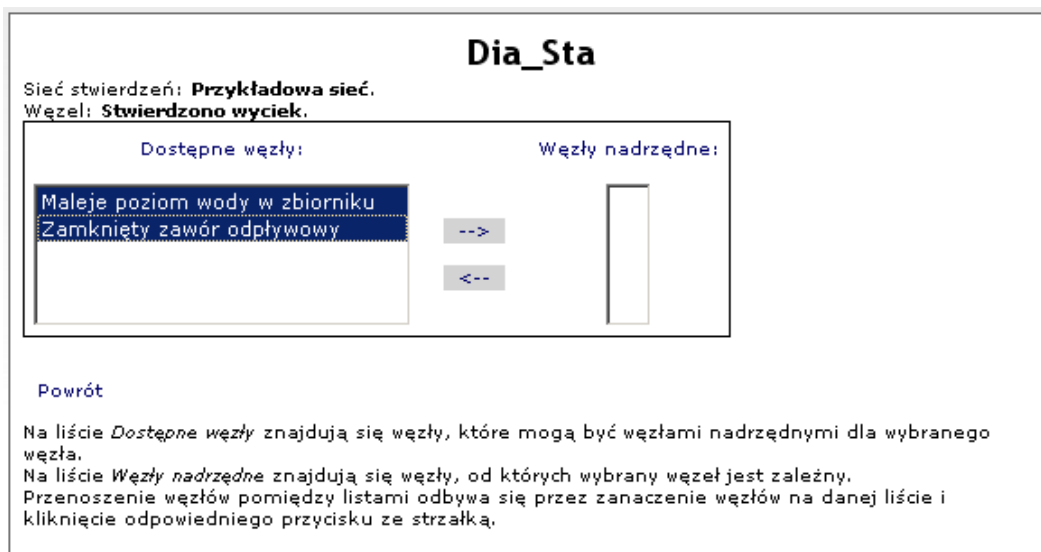


Rys. 5.11: Modyfikacja parametrów węzła sieci stwierdzeń

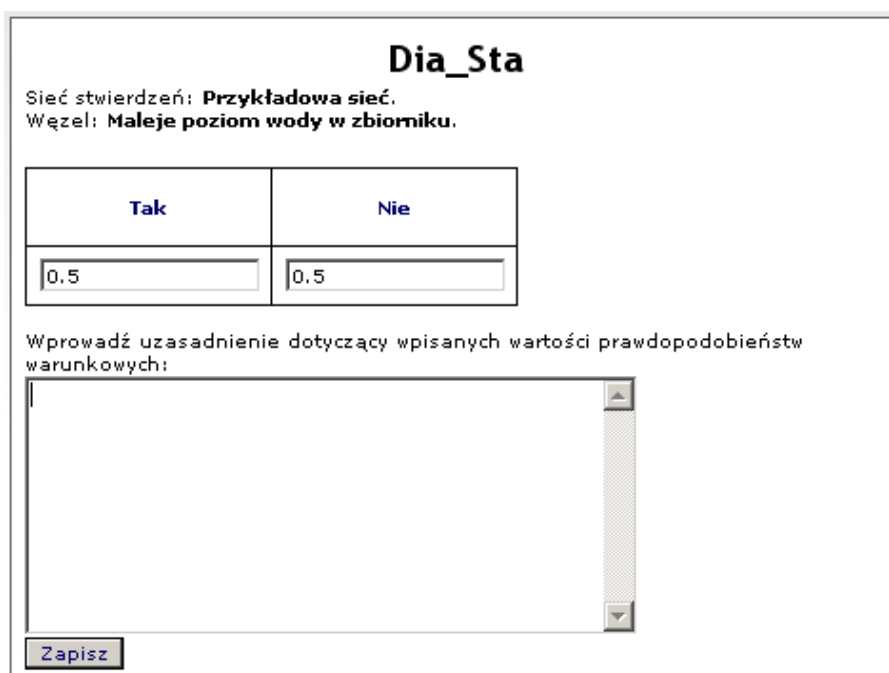
węzłów oraz listą węzłów nadrzędnych. Na rys. 5.12 przedstawiono wybór węzłów nadrzędnych dla węzła *Stwierdzono wyciek*. Zaznaczono pozostałe węzły na liście dostępnych węzłów i po naciśnięciu przycisku --> przeniesiono je na listę węzłów nadrzędnych. Należy tutaj zwrócić uwagę na fakt, że edytor nie blokuje definiowania pętli.

W ten sam sposób należy zmodyfikować pozostałe węzły sieci stwierdzeń, co pozwoli na zdefiniowanie wszystkich zależności w sieci. Po zdefiniowaniu wszystkich zależności w konstruowanej sieci stwierdzeń, można przystąpić do przypisania wartości tablicy prawdopodobieństw warunkowych poszczególnym węzłom sieci. W tym celu należy indywidualnie dla każdego węzła sieci uruchomić procedurę *Edycja tablicy prawdopodobieństw warunkowych* (rys. 5.11). Postać okna przedstawiającego tablicę prawdopodobieństw warunkowych jest zależna od liczby węzłów, będących rodzicami danego węzła. Jeżeli dany węzeł nie ma żadnych rodziców, to postać takiej tablicy jest bardzo prosta. Składa się ona tylko z dwóch tylko pól.





Rys. 5.12: Wybór węzłów nadrzędnych dla danego węzła



Rys. 5.13: Przykład prostej tablicy prawdopodobieństw warunkowych

Przykład takiej tablicy przedstawiono na rys. 5.13. Tablica prawdopodobieństw warunkowych składa się z dwóch części. W pierwszej części wpisywane są wartości prawdopodobieństw warunkowych dla danego stwierdzenia, w drugiej części umieszczono formularz umożliwiający wprowadzanie przez autora sieci uzasadnienia dla tak przyjętych wartości stwierdzenia. Wartości w tablicy prawdopodobieństw warunkowych są liczbami z przedziału  $<0, 1>$ , a ich suma w każdym wierszu tablicy musi być równa 1. Bardziej złożoną postać tablicy prawdopodobieństw warunkowych przedstawiono na rys. 5.14. Przedstawiona tablica składa się z czterech kolumn i takiej samej liczby wierszy. W poszczególnych kolumnach znajdują się:

**Kolumna 1** Stopnie przekonania o prawdziwości stwierdzenia.

**Kolumna 2** Stopnie przekonania o nieprawdziwości stwierdzenia.

**Kolumna 3 i następane** Kombinacje prawdziwości i nieprawdziwości stwierdzeń, będących rodzicami danego stwierdzenia.

### Dia\_Sta

Sieć stwierdzeń: **Przykładowa sieć.**  
 Węzeł: **Stwierdzono wyciek.**

N1 - Maleje poziom wody w zbiorniku  
 N2 - Zamknięty zawór odpływowy

Tak	Nie	N1	N2
<input type="text" value="0.99"/>	<input type="text" value="0.01"/>	Tak	Tak
<input type="text" value="0.5"/>	<input type="text" value="0.5"/>	Tak	Nie
<input type="text" value="0.01"/>	<input type="text" value="0.99"/>	Nie	Tak
<input type="text" value="0.5"/>	<input type="text" value="0.5"/>	Nie	Nie

Wprowadź uzasadnienie dotyczący wpisanych wartości prawdopodobieństw warunkowych:

Rys. 5.14: Przykład tablicy prawdopodobieństw warunkowych dla węzła z dwoma węzłami nadrzędnymi

Nazwy kolumn N1, N2 itd. są opisane nad tabelą prawdopodobieństw warunkowych. Po wypełnieniu tabel prawdopodobieństw warunkowych dla wszystkich węzłów, otrzymamy gotową do uruchomienia sieć stwierdzeń.

### 5.3. Definiowanie drzewa stwierdzeń

Przed zdefiniowaniem zadania, umożliwiającego uruchomienie procesu wnioskowania, konieczne jest wykonanie jeszcze jednego kroku. Tym krokiem jest opracowanie drzewa stwierdzeń. Drzewo stwierdzeń określa sposób w jaki przedstawiane będą wartości stwierdzeń uzyskane w wyniku przeprowadzenia procesu wnioskowania. Nazwa *Drzewo stwierdzeń* sugeruje sposób w jaki węzły sieci oraz wyznaczone wartości poszczególnych węzłów zostaną przedstawione. Będą tworzyły drzewo podobnie jak przedstawiana jest struktura katalogów na dysku komputera. Definiowanie nowego drzewa odbywa się przez wybór opcji *Definiowanie drzewa stwierdzeń* w oknie *Wybór działań na stwierdzeniach* (rys. 5.4).

Uruchomienie grupy zadań związanych z działaniami na drzewach stwierdzeń umożliwia zarówno utworzenie nowych drzew stwierdzeń jak również edytowanie istniejących, wcześniej zdefiniowanych

The screenshot shows a web form titled "Dia\_Sta" with the heading "Edycja drzewa stwierżeń:". Below the heading is a label "Wybierz drzewo do edycji:" followed by a dropdown menu containing the option "8. Nowe drzewo". A blue link "Dalej" is positioned below the dropdown. At the bottom of the form, there is a paragraph of text: "W tym miejscu należy wybrać drzewo stwierżeń, które będzie edytowane lub opcję *Nowe drzewo* aby utworzyć nowe drzewo stwierżeń. [Powrót](#)".

Rys. 5.15: Definiowanie nowego drzewa stwierżeń

drzew. Po uruchomieniu tej opcji, użytkownik otrzymuje listę z wcześniej zdefiniowanymi drzewami, z której można wybrać drzewo do edycji. Na końcu listy dopisana jest pozycja *Nowe drzewo* (rys. 5.15). Wybór tej pozycji z listy drzew umożliwi zdefiniowanie nowego drzewa stwierżeń.

The screenshot shows a web form titled "Dia\_Sta" with the heading "Definiowanie nowego drzewa stwierżeń. Krok 1.". Below the heading is a label "Podaj nazwę drzewa:" followed by a text input field containing "Drzewo dla przykładów". Below this is a label "Wybierz słownik stwierżeń:" followed by a dropdown menu containing the option "85. Słownik dla przykładowej sieci - wersja 2007-10-26 02:52". Below the dropdown are two blue links: "Dalej" and "Powrót". At the bottom of the form, there is a paragraph of text: "W celu zdefiniowania nowego drzewa należy wybrać słownik stwierżeń dla którego drzewo należy również nadać drzewu nazwę, która będzie je identyfikować."

Rys. 5.16: Definiowanie parametrów nowego drzewa stwierżeń

Tworzenie nowego drzewa stwierżeń (rys. 5.16) rozpoczyna się od nadania drzewu nazwy. Nazwa drzewa może składać się z dowolnych liter i cyfr, również polskich znaków diakrytycznych. Oprócz nadania drzewu nazwy należy również wybrać sieć stwierżeń, dla której drzewo ma zostać utworzone. W oknie znajduje się lista z utworzonymi sieciami, z której można wybrać tę, dla której drzewo ma zostać utworzone.

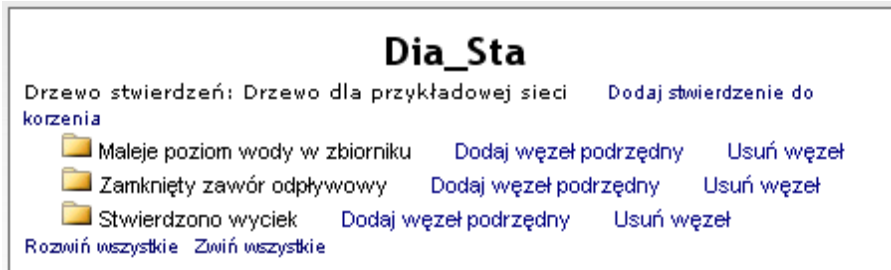
The screenshot shows a web form titled "Dia\_Sta" with the heading "Definiowanie nowego drzewa stwierżeń. Krok 2.". Below the heading is a paragraph of text: "Nowe drzewo zostało utworzone.". Below this text is a blue link "Edycja drzewa."

Rys. 5.17: Potwierdzenie utworzenia drzewa

Po naciśnięciu przycisku *Dalej*, jeżeli system nie wskaże błędów, następuje przejście do strony potwierdzającej utworzenie nowego drzewa. Kolejnym etapem jest edycja nowo utworzonego drzewa. W przypadku utworzenia nowego drzewa, system domyślnie tworzy drzewo, którego elementami są

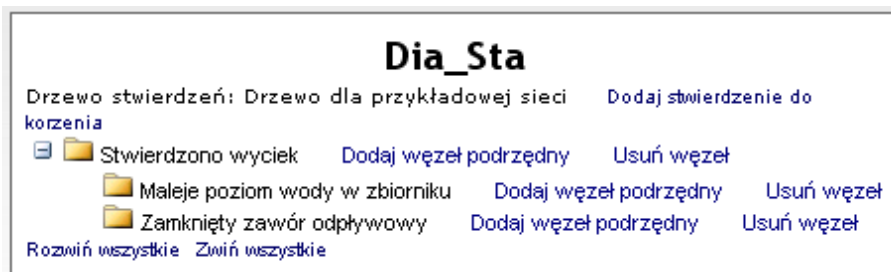
wszystkie węzły danej sieci. Drzewo takie nie ma odgałęzień, a wszystkie węzły są umieszczone w korzeniu drzewa. Po prawej stronie każdego węzła umieszczono menu zawierające dwie pozycje (rys. 5.18):

- *Dodaj węzeł podrzędny*,
- *Usuń węzeł*.



Rys. 5.18: Edycja drzewa stwierdzeń

Pierwsza pozycja tego menu umożliwia dodawanie do danego węzła węzłów podrzędnych. Druga pozycja powoduje usunięcie danego węzła z drzewa stwierdzeń. Poszczególne węzły sieci mogą być umieszczane w sposób dowolny i nie jest to w żaden sposób powiązane ze strukturą utworzonej wcześniej sieci stwierdzeń, dla której drzewo jest przygotowywane. Ten sam węzeł może występować w drzewie w kilku miejscach równocześnie, jeżeli tylko autor drzewa uzna to za zasadne. Węzły mogą być również dodawane i usuwane z głównego korzenia drzewa. W celu dodania nowego węzła do korzenia drzewa należy wybrać opcję *Dodaj stwierdzenie do korzenia*. Przykładową postać drzewa po przeprowadzeniu jego edycji przedstawiono na rys. 5.19.



Rys. 5.19: Drzewo po edycji

## 5.4. Podsumowanie

W przedstawionym rozdziale opisano zasady związane z konstruowaniem sieci stwierdzeń i definiowaniem drzewa stwierdzeń. Przygotowanie samej sieci stwierdzeń jest zadaniem stosunkowo czasochłonnym, a jego złożoność zależy od liczby stwierdzeń występujących w danej sieci oraz skomplikowania relacji występujących pomiędzy węzłami sieci. Przedstawiony tutaj przykład jest przykładem trywialnym i nie oddaje w pełni możliwości tego systemu. Przykład bardziej rozbudowanego zastosowania sieci stwierdzeń zostanie zaprezentowany w jednym z kolejnych rozdziałów.

## Bibliografia

- [5.1] Cholewa W. Ogólna koncepcja systemu DIADYN. Cholewa W., redaktor, *Warsztaty DIADYN. Materiały seminaryjne. wydanie II, poprawione i uzupełnione*, strony 4–14. Katedra PKM Politechniki Śląskiej, Ustroń, 2006-09-23.

- [5.2] Cholewa W. Systemy doradcze w diagnostyce technicznej. Korbicz J., Kościelny J. M., Kowalczyk Z., Cholewa W., redaktorzy, *Diagnostyka procesów. Modele, metody sztucznej inteligencji, zastosowania*, strony 543–580. WNT, Warszawa 2002.



# Rozdział 6

## Wnioskowanie w sieci stwierdzeń zorganizowanej jako sieć bayesowska

Sebastian RZYDZIK

### 6.1. Wstęp

Rozdział ten kierowany jest do autorów systemu DiaDyn zajmujących się przede wszystkim rozwojem i opracowywaniem fragmentów systemu związanych z metodami wnioskowania w sieciach stwierdzeń.

Moduł Dia\_Bel jest częścią systemu DiaDyn [6.16, 6.4] i został opracowany na potrzeby realizacji procesu wnioskowania przybliżonego. Cały moduł został napisany w języku Java [6.20]. Przewiduje się, że moduł będzie rozwijany w kierunku zastosowania innych metod wnioskowania. Z tego powodu postanowiono użyć systemu wieloagentowego. Założono, że każdy rodzaj zadania, będzie obsługiwany przez ściśle wyspecjalizowanego agenta. Takie podejście pozwala na elastyczną rozbudowę systemu.

### 6.2. Wybór środowiska

Wybór narzędzi był podyktowany następującymi potrzebami:

- niezależność systemowa i sprzętowa,
- dostępność bibliotek programisty (API),
- stabilność działania,
- dostępność dokumentacji programisty.

Z szerokiego grona narzędzi do opracowywania i rozwijania systemów wieloagentowych, takich jak: FIPA-OS [6.21], ZEUS [6.7], BOND [6.12], czy Grasshopper [6.10], szczególną uwagę zwrócono na środowisko o nazwie JADE [6.11] (ang. Java Agent DEvelopment Framework). Jak można wnioskować z nazwy, platforma JADE została napisana w języku programowania Java [6.20]. Dzięki temu możliwe jest uruchomienie środowiska agentowego na każdym urządzeniu komputerowym, na które napisano wirtualną maszynę Java (ang. Java Virtual Machine). Najważniejszymi cechami środowiska agentowego JADE są:

- tworzenie, klonowanie i usuwanie agentów,
- swobodna migracja agentów w ramach granic środowiska,
- wbudowana usługa katalogowa przechowująca dane o uruchomionych agentach (funkcja udostępniana przez specjalnego agenta o nazwie *DF* (ang. Directory Facilitator)),

- zastosowanie standardu *ACL* wymiany komunikatów pomiędzy agentami,
- graficzny interfejs użytkownika (udostępniany przez specjalnego agenta o nazwie *RMA* (ang. Remote Management Agent)),
- wbudowane narzędzia do analizy działania agentów (Debugger) i analizy komunikatów przesyłanych pomiędzy agentami (Sniffer).

Cała platforma jest zarządzana przez specjalnego agenta o nazwie *ams* (ang. Agent Management Service), który jest rdzeniem systemu. Agent ten jest odpowiedzialny za obsługę serwisów uruchamianych w ramach działań podejmowanych przez agentów.

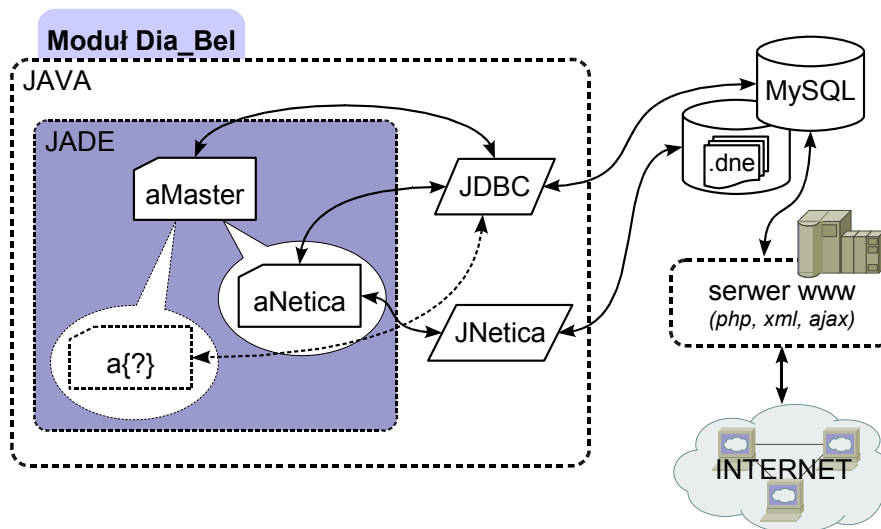
Wybór systemu agentowego podyktował jednocześnie wybór Javy jako języka programowania do tworzenia modułu *Dia\_Bel*.

Jako narzędzie wspomagające realizację zadania wnioskowania w sieci bayesowskiej wybrano oprogramowanie *Netica* [6.14]. Pomimo dostępności oprogramowania dystrybuowanego na licencji GNU GPL (np. Bayesian Network tools in Java (BNJ) [6.1]) postanowiono użyć sprawdzonego i stabilnego programu jakim jest *Netica*, a w szczególności udostępnionej biblioteki *JNetica*.

### 6.3. Ogólna struktura modułu *Dia\_Bel*

Na rysunku 6.1 pokazano strukturę modułu *Dia\_Bel*. Moduł *Dia\_Bel* jest powiązany z systemem *DiaDyn* za pomocą bazy danych *MySQL* [6.13] (z użyciem sterownika *JDBC*). Użytkownik nie ma bezpośredniego dostępu do tego modułu. Zlecenie zadań jest możliwe tylko z poziomu modułu *Dia\_Sta* współpracującego z modułem *Dia\_Wiki* [6.17, 6.6], który służy, m.in. do gromadzenia stwierdzeń i reguł. Z kolei moduły *Dia\_Sta* i *Dia\_Wiki* są dostępne poprzez moduł *Dia\_Sys* [6.18] (rozd. 3), który zarządza uprawnieniami użytkowników do wybranych elementów systemu *DiaDyn*. Wszystkie elementy systemu *DiaDyn* są zainstalowane na serwerze stron internetowych.

Jednym z ważniejszych elementów modułu *Dia\_Bel* jest system wieloagentowy. Wybrana platforma *JADE* jest platformą w pełni zgodną ze specyfikacją opracowaną przez fundację *FIPA* (ang. The Foundation for Intelligent Physical Agents) [6.9], której celem jest opracowywanie standardów dla technologii agentowych. Od 2005 roku fundacja *FIPA* działa w ramach komitetu *IEEE* [6.19].



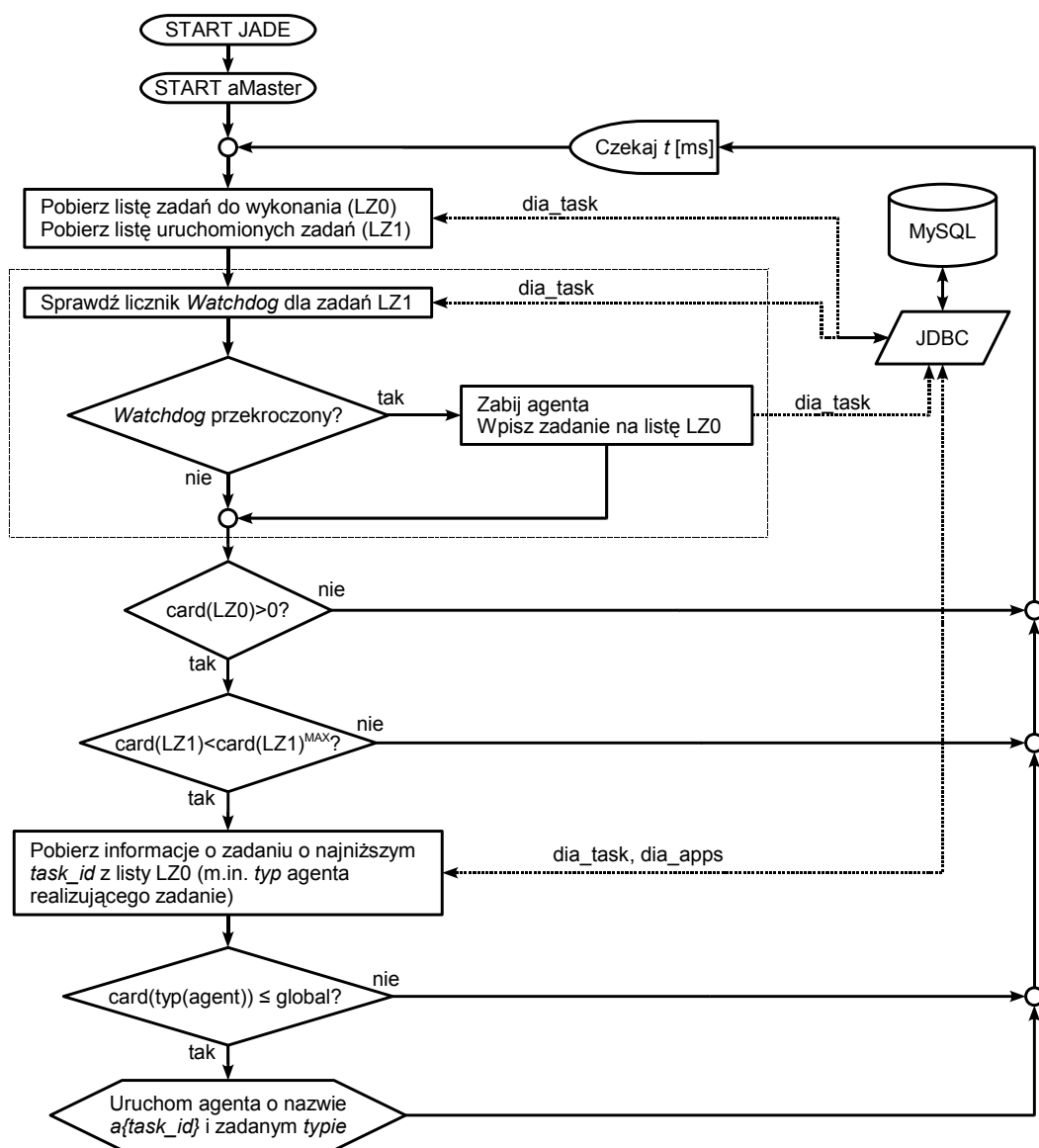
Rys. 6.1: Struktura modułu *Dia\_Bel*



Zarządzaniem żądaniami realizacji zadań wnioskowania zajmuje się agent typu aMaster. Na podstawie danych odczytywanych z bazy danych agent aMaster tworzy agentów typu  $a\{*\}$  (gdzie  $\{*\}$  jest nazwą typu) wyspecjalizowanych do realizacji konkretnych zadań. Na dzień publikacji tych materiałów dostępny jest tylko jeden typ takiego agenta - aNetica, który jest przeznaczony do realizacji procesu wnioskowania z użyciem sieci bayesowskich. Jest to możliwe dzięki użyciu biblioteki JNetica firmy Norsys. Biblioteka ta ma dostęp do zapisanych w bazie danych zbiorów plików .dne zawierających struktury sieci przekonań. Format .dne jest formatem zapisu struktury i parametrów sieci bayesowskich stosowanym przez firmę Norsys.

## 6.4. Agent typu aMaster

Na rysunku 6.2 pokazano algorytm działania agenta typu aMaster.



Rys. 6.2: Algorytm działania agenta typu aMaster

### 6.4.1. Uruchomienie agenta

Uruchomienie agenta musi być poprzedzone uruchomieniem systemu JADE. Agent działa cyklicznie z minimalnym czasem oczekiwania równym  $t[ms]$  ustalonym jako parametr. Na początku każdego cyklu pobierane są listy zadań oczekujących na wykonanie ( $LZ0$ ) i zadań aktualnie wykonywanych ( $LZ1$ ). Na podstawie listy  $LZ1$  pobierane są wartości liczników Watchdog każdego zadania. Jeżeli dany licznik ma wartość większą od założonej wartości czasu bezczynności agenta realizującego zadany proces, to ten agent jest zabijany, a zadanie jest ponownie wpisane na listę  $LZ0$ . Następnie agent sprawdza czy są jakieś zadania do wykonania ( $card(LZ0) > 0$ ). Jeżeli są żądania wykonania zadań, to agent sprawdza czy liczba uruchomionych agentów (realizowanych zadań) nie przekracza maksymalnej liczby zadań jednocześnie wykonywanych. W przypadku, gdy liczba zadań aktualnie wykonywanych pozwala na uruchomienie jeszcze jednego zadania, to agent aMaster pobiera z bazy danych szczegółowe informacje na temat zadania. Następnie na ich podstawie sprawdza czy dany agent może współdziałać z innymi agentami. Jeżeli jest to możliwe, to tworzony jest nowy agent danego typu i nazwie o postaci  $aTask.id$ .

### 6.4.2. Parametry zadania

Parametry poszczególnych zadań są zapisywane w bazie danych. Do najważniejszych parametrów, niezbędnych do rozpoczęcia realizacji zadania, należą:

- `status` - status zadania: 0 - zadanie oczekujące na wykonanie, 1 - zadanie w trakcie realizacji, 2 - zadanie wykonane pomyślnie, 3 - zadanie zakończone błędem;
- `apps_id` - identyfikator aplikacji/agenta przeznaczonego do realizacji zadania (np. agent aNetica);
- `rule_id` - identyfikator struktury i parametrów sieci przekonań (np. plik `.dne`);
- `start_val_id` - identyfikator początkowych wartości stwierdzeń;
- `val_id` - identyfikator nieznanych lub aktualizowanych wartości stwierdzeń.

Pozostałe parametry są parametrami mających charakter informacyjny:

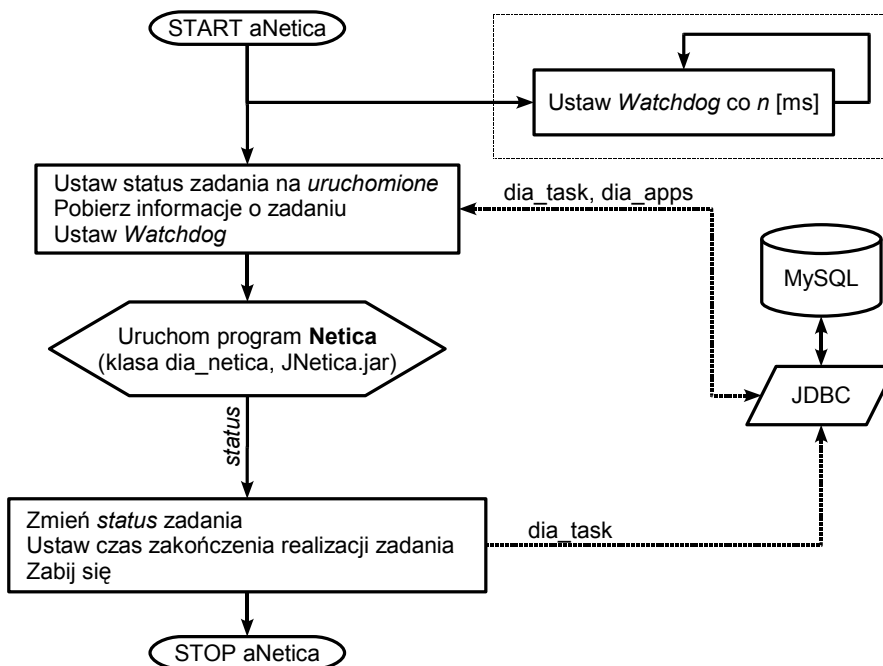
- `start_time` - znacznik czasu rozpoczęcia wykonywania zadania;
- `exec_time` - znacznik czasu aktualizowany w trakcie realizacji zadania (Watchdog);
- `end_time` - znacznik czasu zakończenia wykonywania zadania;
- `error` - opis błędu w przypadku niepomyślnego wykonania zadania (`status=3`).

## 6.5. Agent typu aNetica

Rysunek 6.3 przedstawia algorytm działania agenta typu aNetica. Agent aNetica realizuje zadania w dwóch wątkach. Pierwszy wątek jest odpowiedzialny za cykliczne zerowanie licznika Watchdog. Domyślnie licznik Watchdog jest zerowany co  $10[s]$ . Drugi wątek jest odpowiedzialny za właściwą realizację zadania.

W pierwszym kroku drugiego wątku jest zmieniany status zadania na *uruchomione* (`status=1`). Następnie, na podstawie parametrów wejściowych, agent aNetica pobiera szczegółowe informacje dotyczące realizowanego zadania, tworzy obiekt klasy *dia\_netica* (zob. następny punkt) i uruchamia proces wnioskowania przybliżonego z użyciem biblioteki JNetica.

Jeżeli wartość zwrócona przez metodę obiektu klasy *dia\_netica* jest równa 2, to agent aNetica zgłasza prawidłowe przeprowadzenie procesu wnioskowania. W przypadku, gdy otrzymana wartość jest równa 3, to agent zgłasza błąd. W obu przypadkach ustawiany jest czas zakończenia realizacji zadania (parametr `end_time`). Ostatecznie agent zabija się używając metody `zabijAgent()` klasy *dia\_netica*.



Rys. 6.3: Algorytm działania agenta typu aNetica

### 6.5.1. Realizacja procesu wnioskowania

Proces wnioskowania realizowany jest przez klasę *dia\_netica* (rys. 6.4). Zadanie rozpoczyna się od odczytania parametrów uruchomieniowych, za pomocą których pobierane są nazwy stwierżeń i ich wartości, oraz identyfikatora pliku *.dne* zapisanego w bazie danych. Następnie uruchamiany jest proces wnioskowania z użyciem wskazanej sieci przekonań. Po zakończeniu obliczeń, wynik zapisywany jest w bazie danych, a metoda zwraca wartość statusu, która jest odczytywana i interpretowana przez agenta typu aNetica.

### 6.5.2. Stosowanie sieci bayesowskich

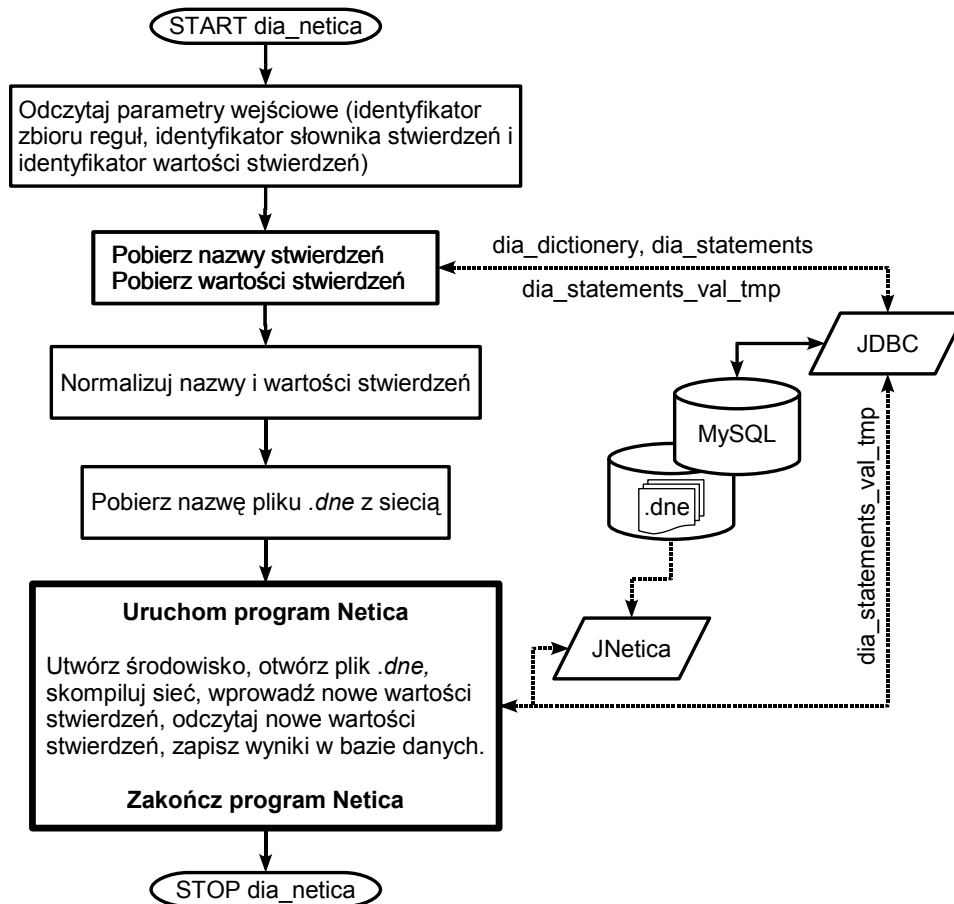
Dokładny opis budowy i uruchamiania sieci bayesowskich można znaleźć na przykład w dokumentacji dołączonej do oprogramowania Netica [6.14] lub materiałach seminaryjnych pierwszych warsztatów DiaDyn [6.3] oraz w innych publikacjach związanych z sieciami bayesowskimi: [6.8], [6.2], [6.5], [6.15].

## 6.6. Tworzenie własnych agentów

Przyjęto, że agent, to utworzony według przyjętego schematu program wyspecjalizowany do realizacji pewnych zadań z użyciem informacji zapisanych w bazach wiedzy i bazach danych systemu DiaDyn.

Zakłada się, że osoba chcąca utworzyć agenta realizującego określone zadania potrafi programować programy w języku Java oraz zaznajomiła się z instrukcją obsługi platformy agentowej JADE i z dokumentacją biblioteki JNetica.

Tworzenie własnego agenta należy rozpocząć od utworzenia klasy agenta. Klasa agenta określa jego typ, a dokładniej mówiąc typ zadania. W drugim kroku należy utworzyć klasę, która przeprowadza właściwy proces realizacji zadania. Opisany sposób jest tylko przykładem. Można również całą procedurę realizacji zadania zamieścić w klasie samego agenta.



Rys. 6.4: Schemat realizacji zadania z użyciem biblioteki JNetica (klasa *dia\_netica*)

Na potrzeby modułu *Dia\_Bel* napisano następujące klasy:

- *aMaster* - agent typu *aMaster*,
- *aNetica* - agent typu *aNetica*,
- *dia\_czas* - zawiera metody wspomagające przetwarzanie czasu i daty z punktu widzenia systemu *DiaDyn*,
- *dia\_jmysql* - zawiera metody wspomagające współdziałanie z bazą danych *MySQL*,
- *dia\_netica* - klasa jest przeznaczona do wspomagania realizacji zadań wnioskowania z użyciem sieci przekonania.

Więcej informacji na temat tych klas można znaleźć w dokumentacji, dostarczonej w formacie *java-doc*, dołączonej do modułu.

### 6.6.1. Struktura przykładowego agenta

W dalszej części pokazano przykład klasy agenta *aTest* (wydruk 6.1). Komentarze ważniejszych fragmentów zawarto w kodzie.

Wydruk 6.1: Kod przykładowego agenta typu *aTest*

```

1 import jade.core.Agent;
2 import jade.wrapper.AgentContainer;

```

```
3 import jade.wrapper.AgentController;
4 import jade.core.behaviours.*;
5
6 public class aTest extends Agent {
7     private static final long serialVersionUID = 1L;
8     static String dbname = null;
9     static String dbuname = null;
10    static String dbpass = null;
11
12    //czas zerowania licznika Watchdog w [ms]
13    static long tickTIME = 10000;
14    //ustaw strefe czasu na GTM
15    dia_czas dc = new dia_czas();
16
17    protected void setup() {
18        //odczytanie parametrów bazy danych (dbname, user, pass)
19        //pierwsze trzy parametry nie mogą być zmieniane!
20        Object[] args = getArguments();
21        aTest.dbname = (String) args[0];
22        aTest.dbuname = (String) args[1];
23        aTest.dbpass = (String) args[2];
24
25        System.out.println("Dia_bel-aTest_ " +
26                           getAID().getName() +
27                           "_jest_uruchomiony.");
28
29        //tworzy uruchamiany cyklicznie watek
30        //zerowania licznika Watchdog
31        addBehaviour(new TickerBehaviour(this, tickTIME) {
32            private static final long serialVersionUID = 1L;
33
34            //ustaw wartość licznika Watchdog
35            protected void onTick() {
36                //w tab dia_task uaktualnic czas exec_time
37                ustawCzas(
38                    getAID().getName().substring(1, getAID().getName().indexOf("@")),
39                    "exec_time", "");
40            }
41        });
42
43        //metoda aStart uruchamia watek realizujący zleczone zadanie
44        aStart(getAID().getName());
45    }
46
47
48    //metoda rozpoczynająca proces realizacji zadania
49    public void aStart (String aName){
50        dia_jmysql jmysql = new dia_jmysql(); //obiekt bazy mysql
51        //pobierz informacje o zadaniu
52        //task_id=aName.substring(1,aName.indexOf("@"))
53        String [] tabZad =
54            this.pobierzZad(aName.substring(1,aName.indexOf("@")));
55
56        //ustaw status zadania na 1
57        this.ustawStatus(tabZad[0], "1");
58        //w tab dia_task uaktualnic czas exec_time
59        this.ustawCzas(tabZad[0], "exec_time", "");
60
61        //pobierz informacje o aplikacji (agencje)
62        String [] zadApps =
63            this.zadApps(Integer.valueOf(tabZad[2].trim()));
64
65        //[START] wykonaj zadanie
```

```

66     String [] args = {aTest.dbname, aTest.dbuname, aTest.dbpass};
67     //utworz obiekt reprezentujacy agenta o typie dia_zad;
68     //klasa dia_zad zostala przedstawiona w nastepnym kodzie zrodlowym
69     dia_zad diaZad = new dia_zad(args);
70     //uruchom zadanie metoda start (klasy dia_zad) i odczytaj status
71     int status = diaZad.start(Integer.valueOf(tabZad[9].trim()),
72         Integer.valueOf(tabZad[6].trim()),
73         Integer.valueOf(tabZad[7].trim()),
74         Integer.valueOf(tabZad[8].trim()));
75     //[STOP] zakoncz zadanie
76
77     //zakonczenie zadania: zmiana statusu na 2 (jezeli nie ma bledow),
78     //dodanie czasu zakonczenia obliczen w polu end_time,
79     //i zabicie agenta
80     this.ustawStatus(tabZad[0], String.valueOf("2"));
81     this.ustawCzas(
82         getAID().getName().substring(1,getAID().getName().indexOf("@")),
83         "end_time","");
84     zabijAgent(aName.substring(1,aName.indexOf("@)));
85 }
86
87
88 //metoda pobiera informacje o zadaniach
89 public String [] pobierzZad (String task_id){
90     dia_jmysql jmysql = new dia_jmysql(); //obiekt bazy mysql
91     String [][] tabZad = null; //tablica z zadaniami do wykonania
92
93     try {
94         //[START] odczytaj informacje o zadaniach do wykonania
95         String [] kolumny = {"task_id", "status", "apps_id",
96             "start_time", "exec_time", "end_time",
97             "dict_id", "start_val_id", "val_id", "rule_id"};
98         tabZad = jmysql.czytaj_tab(
99             jmysql.mysql_start(dbname,dbuname,dbpass),
100             "dia_task",kolumny,"task_id="+task_id.trim(),"");
101
102         return tabZad[0];
103         //[END] obsluga bazy danych
104     }
105     catch (Exception e) {
106         e.printStackTrace();
107         return null;
108     }
109 }
110
111
112 //metoda pobiera informacje o aplikacji realizujacej zadanie
113 public String [] zadApps (int apps_id){
114     dia_jmysql jmysql = new dia_jmysql(); //obiekt bazy mysql
115     String [][] tabApps_tmp = null; //tablica z zadaniami do wykonania
116     String [] tabApps = null; //tablica z zadaniami do wykonania
117
118     try {
119         //[START] odczytaj informacje o zadaniach do wykonania
120         String [] kolumny = {"name", "global_m", "local_m", "run"};
121         tabApps_tmp = jmysql.czytaj_tab(
122             jmysql.mysql_start(dbname,dbuname,dbpass),
123             "dia_apps",kolumny,"apps_id=" + apps_id,"");
124
125         tabApps = tabApps_tmp[0];
126
127         return tabApps;
128         //[END] obsluga bazy danych

```

```
129     }
130     catch (Exception e) {
131         e.printStackTrace();
132         return null;
133     }
134 }
135
136
137 //metoda wspomaga zapisywanie i uaktualnianie znacznikow czasu
138 //w polach: 'start_time', 'exec_time', 'end_time'
139 public boolean ustawCzas (String task_id, String czas, String wartosc){
140     dia_jmysql jmysql = new dia_jmysql(); //obiekt bazy mysql
141
142     try{
143         if (wartosc==""){
144             jmysql.dodaj_wiersz_sql(
145                 jmysql.mysql_start(dbname,dbuname,dbpass),
146                 "UPDATE_dia_task_SET_" + czas + "=" +
147                 dc.teraz_dia_epoka() +
148                 "_WHERE_task_id=" + task_id);
149         }
150         else {
151             jmysql.dodaj_wiersz_sql(
152                 jmysql.mysql_start(dbname,dbuname,dbpass),
153                 "UPDATE_dia_task_SET_" + czas + "=" + wartosc +
154                 "_WHERE_task_id=" + task_id);
155         }
156
157         return true;
158     }
159     catch (Exception e) {
160         e.printStackTrace();
161
162         return false;
163     }
164 }
165
166
167 //metoda wspomaga zapisywanie statusu zadania w polu 'status'
168 public boolean ustawStatus (String task_id, String status){
169     dia_jmysql jmysql = new dia_jmysql(); //obiekt bazy mysql
170
171     try{
172         jmysql.dodaj_wiersz_sql(
173             jmysql.mysql_start(dbname,dbuname,dbpass),
174             "UPDATE_dia_task_SET_status=" + status +
175             "_WHERE_task_id=" + task_id);
176
177         return true;
178     }
179     catch (Exception e) {
180         e.printStackTrace();
181
182         return false;
183     }
184 }
185
186
187 //metoda wspomaga proces zabijania agenta
188 protected void zabijAgentA (String task_id){
189     dia_jmysql jmysql = new dia_jmysql(); //obiekt bazy mysql
190     //Object [] args = new Object[1];
191 }
```

```

192 //AID agentAID = new AID( "a"+task_id , AID.ISLOCALNAME );
193 AgentContainer c = getContainerController();
194 try {
195     AgentController a = c.getAgent("a"+task_id);
196     a.kill();
197     //wpis do dziennika zdarzen
198     jmysql.wstaw_log("Agent_dla_zadania_id=" + task_id +
199         "zostal_zabity", "diaalog", dbname,dbuname,dbpass);
200 }
201 catch (Exception e){
202     e.printStackTrace();
203     jmysql.wstaw_log("Nie_moge_zabic_agenta_dla_zadania_id=" +
204         task_id , "diaalog", dbname,dbuname,dbpass);
205 }
206 }

```

Przykład klasy dia\_zad, która zawiera algorytm realizacji zadania, pokazano na wydruku 6.2. Realizacja zadania rozpoczyna się od uruchomienia metody start().

Wydruk 6.2: Przykład algorytmu przeznaczonego do realizacji zadania wnioskowania w sieciach bayesowskich

```

public class dia_zad {
2  static String dbname = null;
3  static String dbuname = null;
4  static String dbpass = null;
5
6  //konstruktor
7  //podane argumenty sa przykladowe
8  public dia_zad (String[] args) {
9      dia_zad.dbname = args[0];
10     dia_zad.dbuname = args[1];
11     dia_zad.dbpass = args[2];
12 }
13
14
15 //metoda rozpoczyna realizacje zadania
16 public int start(int rule_id , int dict_id , int start_val_id , int val_id){
17     try {
18         //utworz obiekt jmysql klasy dia_jmysql
19         dia_jmysql jmysql = new dia_jmysql();
20
21         //odczytaj nazwy stwierdzen z bazy danych z tabeli
22         //dia_statements i zapisz w tablicy nStw
23         String[] nStw = null;
24         String[] kolumny = {"file_id"};
25         try {
26             nStw = jmysql.array2lista(jmysql.czytaj_tab(
27                 jmysql.mysql_start(dbname,dbuname,dbpass),
28                 "dia_statements , dia_dictionary", kolumny,
29                 "dict_id=" + dict_id +
30                 "_AND_stmt_id=dia_statements.id",
31                 "dia_statements.id" ));
32
33         }
34         catch (Exception e) {
35             e.printStackTrace();
36             return 3; // blad w zapytaniu nr 1
37         }

```



```
38
39
40 //odczytaj wartosci stwierdzen poczatkowych
41 //z bazy danych z tabeli dia_statements_val_tmp
42 //start_val_id jest parametrem dostarczonym z zewnatrz
43 String [] wStwBD = null;
44 kolumny[0] = "value";
45 try {
46     wStwBD = jmysql.array2lista(jmysql.czytaj_tab(
47         jmysql.mysql_start(dbname,dbuname,dbpass),
48         "dia_statements_val_tmp",kolumny,
49         "val_id="+start_val_id,"val_id"));
50
51 }
52 catch (Exception e) {
53     e.printStackTrace();
54     return 4; // blad w zapytaniu nr 2
55 }
56
57
58 //normalizacja nazw stwierdzen nStw
59 for (int i=0;i<nStw.length;i++){
60     nStw[i]=nStw[i].split("\\.")[1].trim();
61     //System.out.println (nStw[i]);
62 }
63
64
65 //normalizacja wartosci stwierdzen wStw
66 String [] wStw = new String[nStw.length];
67 String [] wStwNot = new String[nStw.length];
68 if(wStwBD.length==1){
69     int i=0;
70     StringTokenizer st =
71         new StringTokenizer(wStwBD[0].trim()," ");
72     while (st.hasMoreTokens()) {
73         wStw[i] = st.nextToken();
74         wStwNot[i] = st.nextToken();
75         i++;
76     }
77 }
78 else{
79     return 5; // blad w normalizacji danych wejsciowych
80 }
81
82 //uruchom srodowisko Netica ...
83 //(patrz dokumentacja API JNetica)
84
85 //... wczytaj siec przekonan z bazy danych (plik .dne) ...
86
87 //... wykonaj proces wnioskowania (kompilacja sieci) ...
88
89 //... odczytaj wartosci wskazanych stwierdzen ...
90
91 //... i uaktualnij pola w tabeli dia_statements_val_tmp
92
93 try {
94     jmysql.dodaj_wiersz_sql(
95         jmysql.mysql_start(dbname,dbuname,dbpass),
96         "UPDATE_dia_statements_val_tmp_SET_value=" +
97         wStwNewBD + "'_WHERE_val_id=" + val_id);
98 }
99 catch (Exception e) {
100     e.printStackTrace();
```

```

101         return 6; // blad w zapytaniu nr 3
102     }
103
104     return 1; //wartosc 1 – zadanie zakonczone poprawnie
105 }
106 catch (Exception e) {
107     e.printStackTrace();
108     return 2; //blad uruchomienia srodowiska Netica
109 }
110 }
111 }

```

### 6.6.2. Uruchomienie modułu Dia\_Bel

Po utworzeniu własnego agenta (p. 6.6) i pomyślnym skompilowaniu jego kodu, można przejść do procesu uruchamiania modułu Dia\_Bel. W pierwszym kroku należy uruchomić platformę agentową poleceniem:

```
java jade.Boot aM:aMaster(dbname dbuser dbpass
                cycleTime maxAgents maxNoAgentExecuteTime)
```

gdzie:

- jade.Boot - polecenie uruchamiające platformę agentową JADE;
- aM:aMaster - kolejno nazwa agenta i typ agenta;
- dbname - nazwa bazy danych;
- dbuser - nazwa użytkownika z uprawnieniami do wskazanej bazy danych;
- dbpass - hasło użytkownika;
- cycleTime - czas (w [ms]) pojedynczego cyklu pracy agenta aMaster;
- maxAgents - maksymalna liczba jednocześnie uruchomionych agentów;
- maxNoAgentExecuteTime - maksymalny czas (w [ms]) wykonywania pojedynczego zadania.

Należy pamiętać o wskazaniu położenia bibliotek jade\*.lib, mysql\*.lib oraz NeticaJ\*.lib, np. używając zmiennej systemowej CLASSPATH:

```
CLASSPATH=%CLASSPATH%;.;C:\eclipse\lib\jade\lib\jade.jar;C:\eclipse\lib\jade\lib\jadeTools.jar;C:\eclipse\lib\jade\lib\http.jar;C:\eclipse\lib\jade\lib\iiop.jar;C:\eclipse\lib\NeticaJ.jar;C:\eclipse\lib\mysql-connector-java-5.0.5-bin.jar;C:\eclipse\lib\
```

Na rysunku 6.5 pokazano informacje generowane przez platformę JADE w trakcie jej uruchamiania. Ostatnie wiersze informują o wykonaniu czterech cykli pracy platformy agentowej. W nawiasach kwadratowych przekazywane są kolejno informacje o liczbie zadań do wykonania oraz liczbie zadań aktualnie wykonywanych. Należy dodać, że ze względów ograniczeń biblioteki JNetica, można uruchomić tylko jedną kopię agenta typu aNetica i w związku z tym, zadania związane z wnioskowaniem w sieciach bayesa nie mogą być wykonywane równolegle.

### 6.6.3. Testowanie modułu Dia\_Bel

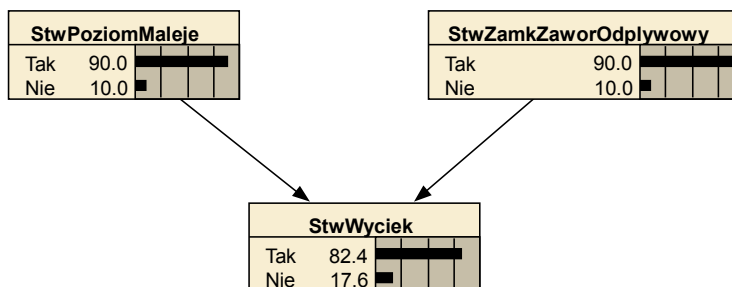
Do testów utworzono prostą sieć bayesa zbudowaną z trzech stwierdzeń. Postać sieci pokazano na rysunku 6.6. W tabeli 6.1 pokazano wartości prawdopodobieństw warunkowych stwierdzenia StwWyciek.

```

C:\dia_bel>echo off
2007-10-18 11:38:45 jade.core.Runtime beginContainer
INFO: -----
      This is JADE3.4 - revision 5874 of 2006/03/09 14:13:11
      downloaded in Open Source, under LGPL restrictions,
      at http://jade.tilab.com/
-----
2007-10-16 20:53:18 jade.core.BaseService init
INFO: Service jade.core.management.AgentManagement initialized
2007-10-16 20:53:18 jade.core.BaseService init
INFO: Service jade.core.messaging.Messaging initialized
2007-10-16 20:53:18 jade.core.BaseService init
INFO: Service jade.core.mobility.AgentMobility initialized
2007-10-16 20:53:18 jade.core.BaseService init
INFO: Service jade.core.event.Notification initialized
2007-10-16 20:53:19 jade.core.AgentContainerImpl joinPlatform
INFO: -----
Agent container Main-Container@JADE-IMTP://neo is ready.
-----
Dia_bel-aMaster aM@neo:1099/JADE jest uruchomiony.
0 [0], [0] Tue Oct 18 11:38:48 GMT 2007
1 [0], [0] Tue Oct 18 11:38:50 GMT 2007
2 [0], [0] Tue Oct 18 11:38:52 GMT 2007
3 [0], [0] Tue Oct 18 11:38:53 GMT 2007

```

Rys. 6.5: Moduł Dia\_Bel w trakcie procesu uruchamiania



Rys. 6.6: Testowana sieć stwierżeń

Wykaz wartości stopni prawdziwości stwierżeń wejściowych przed procesem wnioskowania pokazano na rysunku 6.7. Dwa stwierżenia, StwPoziomMaleje i StwZamkZaworOdplywowy, mają

Tab. 6.1: Tablica wartości prawdopodobieństw warunkowych dla węzła StwWyciek

StwPoziomMaleje	StwZamkZaworOdplywowy	Tak	Nie
Tak	Tak	100	0
Tak	Nie	10	90
Nie	Tak	0	100
Nie	Nie	50	50

Edycja wartości stwierdzeń dla zadania - **Zadanie**




Nazwa zbioru wartości stwierdzeń:

Nazwa stwierdzenia	Wartość stwierdzenia
Maleje poziom wody	<input type="text" value="0.7"/>
Zamknięty zawór odpływowy	<input type="text" value="0.8"/>
Stwierdzono wyciek	<input type="text" value="N"/>

Rys. 6.7: Wartości stopni prawdziwości stwierdzeń (moduł Dia\_Sta)

**Dia\_Sta**

Wyniki dla zadania **Zadanie**

-  Maleje poziom wody: 0.95
-  Zamknięty zawór odpływowy: 0.97
-  Stwierdzono wyciek: 0.93

Rozwiń wszystkie    Zwiń wszystkie

Pobierz jako XML    Zachowaj jako listę wartości stwierdzeń

Rys. 6.8: Wartości stwierdzeń otrzymane w module Dia\_Sta

ustalone wartości stopni prawdziwości, natomiast stwierdzenie StwWyciek jest oznaczone jako stwierdzenie, którego wartość będziemy poszukiwać.

Na rysunku 6.9 pokazano komunikaty zwracane przez moduł Dia\_Bel w trakcie wykonywania zadania. Pokazywane są podstawowe parametry sieci (liczba stwierdzeń i ich nazwy) oraz informacje o poszczególnych krokach realizacji zadania.

Wykaz otrzymanych wartości stwierdzeń prezentowanych w module Dia\_Sta pokazano na rysunku 6.8. Dla porównania, na rysunku 6.10, pokazano wartości stwierdzeń uzyskane w programie Netica.

Więcej o procesie tworzenia zadań, edycji ich parametrów oraz ich uruchamiania opisano w rozdziale dotyczącym modułu Dia\_Sta.

```
4 [0], [0] Thu Oct 18 11:38:55 GMT 2007
5 [0], [0] Thu Oct 18 11:38:56 GMT 2007
6 [1], [0] Thu Oct 18 11:38:58 GMT 2007
Dia_bel-aNetica a5@neo:1099/JADE jest uruchomiony.
Siec: wyciek
Wezly (3): [StwPoziomMaleje, StwZamkZaworOdplywowy, StwWyciek]
skompiluj siec

zakoncz Netica

strem.finalize

net.finalize

Netica zakonczona

status=ok

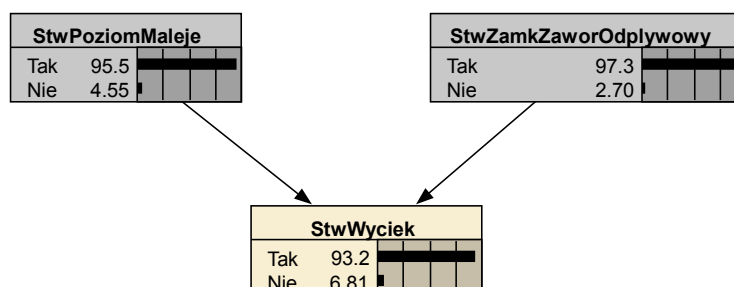
zakonczono zadanie

status zadania=2

zabito Agenta

7 [0], [0] Thu Oct 18 11:38:59 GMT 2007
8 [0], [0] Thu Oct 18 11:39:00 GMT 2007
```

Rys. 6.9: Moduł Dia\_Bel w trakcie wykonywania zadania



Rys. 6.10: Wartości stwierżeń otrzymane w programie Netica

## Bibliografia

- [6.1] Bayesian Network tools in Java (BNJ). Home page. <http://www.kddresearch.org/Groups/Probabilistic-Reasoning/BNJ>, 2007.
- [6.2] Bednarski M. *Metody doskonalenia sieci bayesowskich stosowanych w diagnostycznych systemach doradczych*. Zeszyt 131. Katedra Podstaw Konstrukcji Maszyn Politechniki Śląskiej, Gliwice, 2006.
- [6.3] Cholewa A. Przykład wnioskowania na podstawie sieci przekonań. Cholewa W., redaktor, *Warsztaty DIADYN. Materiały seminaryjne. wydanie II, poprawione i uzupełnione*, strony 22–29. Katedra PKM Politechniki Śląskiej, Ustroń, 2006-09-23.
- [6.4] Cholewa W. Ogólna koncepcja systemu DIADYN. Cholewa W., redaktor, *Warsztaty DIADYN. Materiały seminaryjne. wydanie II, poprawione i uzupełnione*, strony 4–14. Katedra PKM Politechniki Śląskiej, Ustroń, 2006-09-23.
- [6.5] Chow C. K., Liu C. N. Approximating discrete probability distributions with dependence trees. *IEEE Transactions on Information Theory*, 14(3):462–467, 1968.
- [6.6] Chrzanowski P. Przykład zastosowania modułu DIA.WIKI. Cholewa W., redaktor, *Warsztaty DIADYN. Materiały seminaryjne. wydanie II, poprawione i uzupełnione*, strony 40–43. Katedra PKM Politechniki Śląskiej, Ustroń, 2006-09-23.
- [6.7] Collis J., Lee L., Thompson S. Zeus Agent Toolkit. <http://labs.bt.com/projects/agents/zeus/>, maj 2006.
- [6.8] Cooper G. F., Herskovits E. A bayesian method for the introduction of probabilistic networks from data. *Machine Learning*, 9(4):309–347, Boston 1992.
- [6.9] FIPA - The Foundation for Intelligent Physical Agents. Home page. <http://www.fipa.org>, maj 2006.
- [6.10] IKV++ GmbH, Informations- und Kommunikationssysteme. Grasshopper Programmer's Guide. <http://www.grasshopper.de>, maj 2006.
- [6.11] Lab Telecom Italia. JADE - Java Agent DEvelopment Framework. <http://jade.tilab.com>, maj 2006.
- [6.12] Marinescu D. C., Bölöni L. L. BOND. A Multi-Agent System. <http://bond.cs.ucf.edu>, maj 2006.
- [6.13] MySQL AB. MySQL Community Server. <http://www.mysql.com>, marzec 2007.
- [6.14] Norsys Software Corp. Netica™ Application. <http://norsys.com/>, marzec 2007.
- [6.15] Pearl J. *Probabilistic reasoning in intelligent systems*. Morgan Kaufman, San Mateo, CA 1988.
- [6.16] Projekt PBZ-KBN-105/T10/2003 koordynowany przez IMP PAN. System DiaDyn. <https://kpk.m.polsl.pl/diadynd/>, październik 2007.
- [6.17] Psiuk K. Ogólne zasady stosowania modułu DIA.WIKI. Cholewa W., redaktor, *Warsztaty DIADYN. Materiały seminaryjne. wydanie II, poprawione i uzupełnione*, strony 30–39. Katedra PKM Politechniki Śląskiej, Ustroń, 2006-09-23.
- [6.18] Rzydzik S. Ogólne zasady stosowania modułu DIA.SYS. Cholewa W., redaktor, *Warsztaty DIADYN. Materiały seminaryjne. wydanie II, poprawione i uzupełnione*, strony 44–51. Katedra PKM Politechniki Śląskiej, Ustroń, 2006-09-23.
- [6.19] Society IEEE Computer. Home page. <http://www.computer.org/portal/site/ieeecs>, maj 2006.
- [6.20] Sun Microsystems, Inc. Java Platform, Standard Edition (Java SE). <http://java.sun.com/javase/downloads/index.html>, maj 2006.
- [6.21] Treadway A., Duncan A., Newland Ch., Buckle P. FIPA-OS Agent Toolkit. <http://sourceforge.net/projects/fipa-os/>, maj 2006.

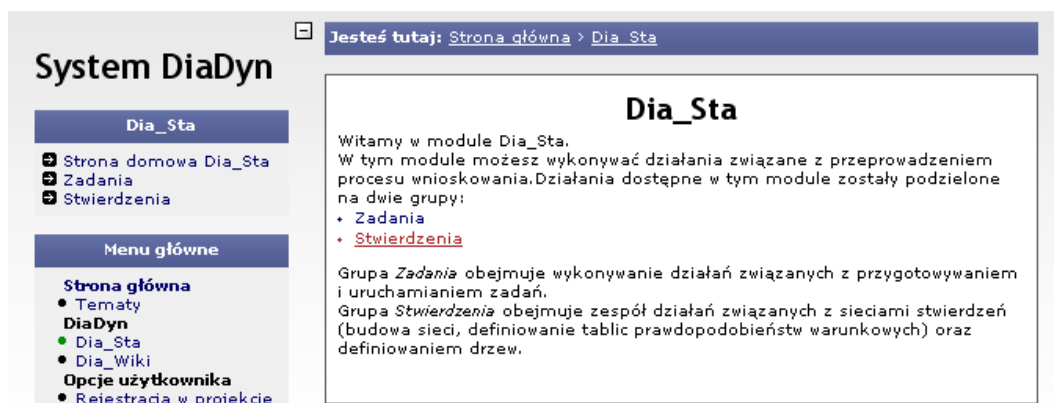
# Rozdział 7

## Stosowanie sieci stwierdzeń

Krzysztof PSIUK

### 7.1. Wprowadzenie

W rozdziale *Konstruowania sieci stwierdzeń* opisano zagadnienia związane z przygotowaniem sieci stwierdzeń [7.2] do przeprowadzenia procesu wnioskowania. Tak przygotowana sieć może być następnie uruchamiana w postaci zadań. Zadania definiowane są również w module Dia\_Sta i pozwalają na narzucanie wartości początkowych węzłów sieci stwierdzeń i uruchamianie procesu wnioskowania.

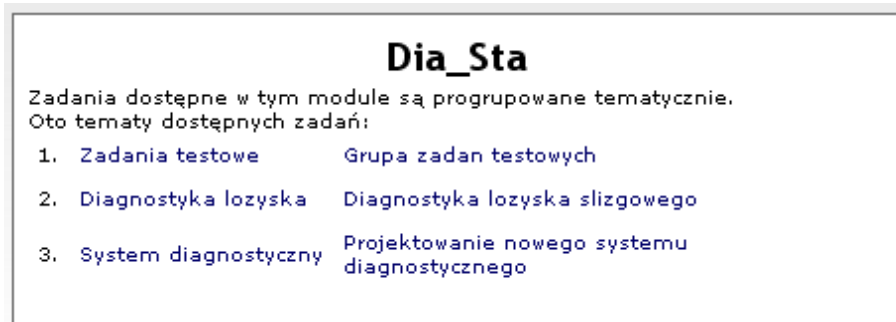


Rys. 7.1: Okno główne modułu Dia\_Sta

Celem działania systemu DiaDyn [7.1] jest prowadzenie procesu wnioskowania w oparciu o zapisaną w nim wiedzę. Wszystkie wykonywane wcześniej działania związane zarówno z opracowywaniem stwierdzeń, definiowaniem słowników stwierdzeń, konstruowaniem samej sieci stwierdzeń i definiowaniem drzewa stwierdzeń były związane z celem działania systemu. Zwieńczeniem prowadzonych prac ma być uruchomienie procesu wnioskowania dla utworzonych zasobów. Aby zrealizować główne zadanie systemu, zdefiniowano w nim *Zadania*. Zadanie w systemie DiaDyn jest zbiorem procedur umożliwiających przeprowadzenie procesu wnioskowania dla wybranych przez użytkownika systemu danych. Wszystkie czynności związane czy to ze zdefiniowaniem nowego zadania, czy też z uruchomieniem zadania przygotowanego wcześniej zostały umieszczone w pozycji *Zadania*, głównego menu modułu Dia\_Sta (rys. 7.1). Wejście do tej pozycji menu udostępnia użytkownikowi możliwości uruchamiania zadań i ich definiowania.

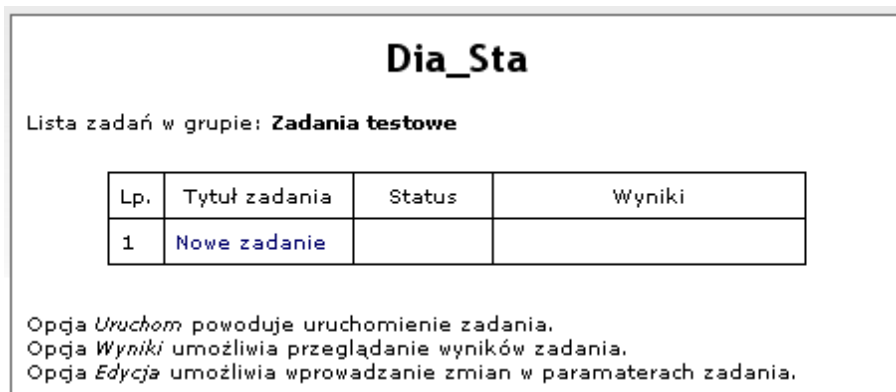
## 7.2. Definiowanie i uruchamianie zadań

W systemie DiaDyn zgromadzone zadania zostały podzielone na kategorie (rys. 7.2). Definiowanie nowego zadania wiąże się z wybraniem odpowiedniej dla danego zadania kategorii lub zdefiniowanie nowej. Nowe kategorie są definiowane przez administratora systemu DiaDyn, na wniosek użytkowników systemu.



Rys. 7.2: Grupy tematyczne zadań

Wybór kategorii zadania powoduje przejście do listy zadań zdefiniowanych w tej kategorii. Jedną z pozycji na tej liście jest pozycja *Nowe zadanie*. Pustą listę zadań przedstawiono na rys. 7.3.



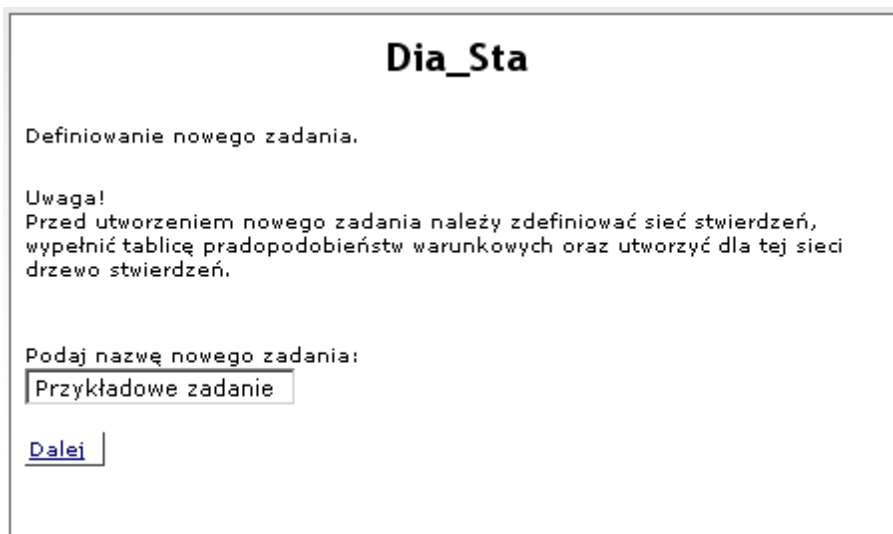
Rys. 7.3: Lista zadań

W celu zdefiniowania nowego zadania, należy wybrać z listy zadań pozycję *Nowe zadanie* i uruchomić procedurę tworzenia nowego zadania. W pierwszym kroku należy podać nazwę tworzonego zadania (rys. 7.4). Wybraną nazwę należy wpisać w polu edycyjnym i zatwierdzić wybierając przycisk *Dalej*.

W kolejnym kroku (rys. 7.5) należy wybrać sieć stwierdzeń, dla której zadanie ma zostać zdefiniowane. Dostępne sieci stwierdzeń są wyświetlane w postaci listy, z której dokonuje się wyboru sieci.

Aby zadanie mogło być uruchomione konieczne jest narzucenie poszczególnym węzłom sieci stwierdzeń wartości początkowych. Jeżeli w momencie tworzenia nowego zadania, dla danej sieci stwierdzeń nie utworzono żadnych wartości początkowych system wygeneruje automatycznie domyślne wartości początkowe dla poszczególnych węzłów. Jeżeli dla danej sieci były prowadzone wcześniej jakieś obliczenia i ich wyniki zostały zachowane w systemie, to wówczas są one dostępne w momencie tworzenia nowego zadania i mogą być wykorzystane jako dane wejściowe do prowadzenia procesu wnioskowania. Oprócz wyboru początkowych wartości stwierdzeń, na tym etapie definiowania nowego zadania, należy również wybrać drzewo stwierdzeń, definiujące sposób przedstawiania wyników działania sieci stwierdzeń. Wybór drzewa odbywa się podobnie jak wybór wartości początkowych, z





**Dia\_Sta**

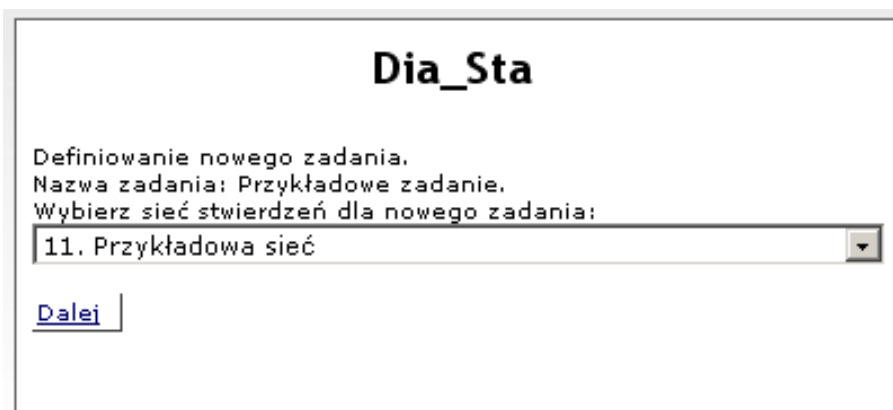
Definiowanie nowego zadania.

**Uwaga!**  
Przed utworzeniem nowego zadania należy zdefiniować sieć stwierdzeń, wypełnić tablicę prawdopodobieństw warunkowych oraz utworzyć dla tej sieci drzewo stwierdzeń.

Podaj nazwę nowego zadania:

[Dalej](#)

Rys. 7.4: Definiowanie nowego zadania



**Dia\_Sta**

Definiowanie nowego zadania.  
Nazwa zadania: Przykładowe zadanie.  
Wybierz sieć stwierdzeń dla nowego zadania:

11. Przykładowa sieć

[Dalej](#)

Rys. 7.5: Definiowanie nowego zadania. Wybór sieci stwierdzeń

dostępnej listy drzew stwierdzeń, zdefiniowanych dla danej sieci stwierdzeń. Okno modułu Dia\_Sta z opcjami wyboru wartości początkowych oraz drzewa stwierdzeń pokazano na rys. 7.6.

Po wyborze parametrów zadania i ich potwierdzeniu, zadanie jest utworzone i dostępne dla użytkownika systemu. Nowo utworzone zadanie pojawia się na liście zadań w danej kategorii zadań. Na liście zadań, obok każdego zadania umieszczone są lokalne menu, umożliwiające wykonanie następujących czynności:

**Uruchom** Uruchamia wybrane zadanie i rozpoczyna proces wnioskowania,

**Wyniki** Umożliwia przeglądanie wyników działania systemu doradczego, dla wybranego zadania i w sposób odpowiedni dla wybranego drzewa,

**Edycja** Umożliwia zmianę parametrów zadania.

Poszczególne pozycje menu mogą nie być dostępne w różnych momentach trwania procesu wnioskowania. W czasie kiedy dane zadanie jest wykonywane niedostępne są opcje dotyczące zarówno uruchamiania jak i edycji zadania. Uruchamianie zadania odbywa się przez wybór pozycji *Uruchom* dla danego zadania (rys. 7.7).

Wybór pozycji *Edycja* umożliwia wprowadzanie zmian w parametrach uruchamiania zadania. Okno z parametrami zadania, które mogą zostać zmienione przedstawiono na rys. 7.8. Do parametrów zadania, które można zmieniać należą: nazwa zbioru wartości stwierdzeń oraz wartości poszczególnych stwierdzeń. Wartościami poszczególnych stwierdzeń są stopnie przekonania o prawdziwości

## Dia\_Sta

Definiowanie nowego zadania.  
 Nazwa zadania: Przykładowe zadanie.  
 Wybrana sieć stwierdzeń: Przykładowa sieć.

Wybierz początkowe wartości stwierdzeń:

Wybierz drzewo stwierdzeń:

[Dalej](#)

Rys. 7.6: Definiowanie nowego zadania. Wybór wartości początkowych i drzewa stwierdzeń

## Dia\_Sta

Lista zadań w grupie: **Zadania testowe**

Lp.	Tytuł zadania	Status	Wyniki
1	Przyk	Wykonane	<a href="#">Uruchom</a>   <a href="#">Wyniki</a>   <a href="#">Edycja</a>
2	<a href="#">Nowe zadanie</a>		

Opcja *Uruchom* powoduje uruchomienie zadania.  
 Opcja *Wyniki* umożliwia przeglądanie wyników zadania.  
 Opcja *Edycja* umożliwia wprowadzanie zmian w paramaterach zadania.

Rys. 7.7: Uruchamianie zadania z listy zadań

danego stwierdzenia. Wartości stwierdzeń podawane są jako liczby z przedziału  $<0, 1>$ . Im wartości są bliższe jedności, tym bardziej jesteśmy przekonani o prawdziwości danego stwierdzenia. Im wartość stwierdzenia bliższa zeru, tym nasz stopień przekonania o prawdziwości stwierdzenia maleje. Jeżeli dla jakiegoś stwierdzenia nie jest możliwe określenie stopnia przekonania, można w takie pola wstawić znak wielkiej litery N. Będzie to równoznaczne z tym, że wartość takiego stwierdzenia nie jest znana.

Wynikiem działania systemu są zmodyfikowane wartości stwierdzeń, określające stopnie przekonania o prawdziwości danego stwierdzenia. Przykładowy wynik działania systemu przedstawiono na rys. 7.9. Jak widać na rysunku, wyniki zostały przedstawione w postaci drzewa stwierdzeń, które wcześniej zostało zdefiniowane. Otrzymane wyniki można zapisać w postaci pliku XML, a także zachować jako listę wartości początkowych stwierdzeń, która może być wykorzystana do ponownego procesu wnioskowania. Elementy drzewa stwierdzeń są elementami aktywnymi i działają jak odsyłacze. Klikając na stwierdzenie występujące w drzewie, system przejdzie do odpowiedniego stwierdzenia zdefiniowanego w module Dia\_Wiki. Tak więc uzyskane wyniki procesu wnioskowania mogą zostać objaśnione przez system objaśnień opracowany przy przygotowywaniu stwierdzeń w module Dia\_Wiki.

## Dia\_Sta

Edycja wartości stwierżeń dla zadania - **Przykładowe zadanie**

Nazwa zbioru wartości stwierżeń:

Nazwa stwierżenia	Wartość stwierżenia
Maleje poziom wody w zbiorniku	<input type="text" value="0,9"/>
Zamknięty zawór odpływowy	<input type="text" value="0,1"/>
Stwierdzono wyciek	<input type="text" value="N"/>



[Dalej](#)

Wartości stwierżeń należy podawać jako liczby z przedziału <0,1>. Wartość nieznana określana jest przez wpisanie wielkiej litery 'N'

Rys. 7.8: Edycja wartości stwierżeń dla zadania

## Dia\_Sta

Wyniki dla zadania **Przyk**

-  Stwierdzono wyciek: 0.53919995
-  Maleje poziom wody w zbiorniku: 0.9
-  Zamknięty zawór odpływowy: 0.1

[Rozwiń wszystkie](#)   [Zwiń wszystkie](#)

[Pobierz jako XML](#)   [Zachowaj jako listę wartości stwierżeń](#)

Rys. 7.9: Wynik działania sieci stwierżeń

### 7.3. Podsumowanie

W tym rozdziale opisano zagadnienia związane ze stosowaniem sieci stwierżeń. Stosowanie sieci stwierżeń wiąże się z przygotowaniem zadań i ich uruchomieniem. Przygotowanie zadania polega na wyborze opracowanej wcześniej sieci stwierżeń i wprowadzeniu wartości początkowych do tej sieci. Po uruchomieniu zadania, wyniki są przedstawiane w postaci zdefiniowanego i wybranego dla danego

zadania drzewa sieci. Na podstawie uzyskanych wyników można wyciągać wnioski dotyczące danej sieci, a także wprowadzać modyfikacje w tablicach prawdopodobieństw warunkowych poszczególnych węzłów sieci. Uzyskane wyniki mogą być zapisane w systemie i wykorzystane jako dane wejściowe w innych zadaniach.

## Bibliografia

- [7.1] Cholewa W. Ogólna koncepcja systemu DIADYN. Cholewa W., redaktor, *Warsztaty DIADYN. Materiały seminaryjne. wydanie II, poprawione i uzupełnione*, strony 4–14. Katedra PKM Politechniki Śląskiej, Ustroń, 2006-09-23.
- [7.2] Cholewa W. Systemy doradcze w diagnostyce technicznej. Korbicz J., Kościelny J. M., Kowalczyk Z., Cholewa W., redaktorzy, *Diagnostyka procesów. Modele, metody sztucznej inteligencji, zastosowania*, strony 543–580. WNT, Warszawa 2002.

# Rozdział 8

## Baza danych uczących

Adam CHOLEWA

### 8.1. Wstęp

Procesy pozyskiwania wiedzy dla systemów doradczych oraz procesy weryfikacji tych systemów wymagają danych uczących, które mogą być stosowane jako dane trenujące lub testujące. W chwili obecnej źródła danych stosują różne formaty danych. Utrudnia to stosowanie tych danych i ogranicza możliwości automatyzacji procesów pozyskiwania zawartej w nich wiedzy.

W niniejszym rozdziale opisano Bazę Danych Uczących (BDU) pozwalającą na przechowywanie w jednolity sposób, danych pochodzących z różnych źródeł, w których pierwotnie były one zapisane w różnych formatach. Baza ta jest integralną częścią systemu DiaDyn.

Do pełnego przedstawienia znaczenia danych, niezbędnego dla właściwego ich zastosowania, potrzebne są:

- informacje o obiekcie, którego dotyczą dane,
- informacje o rozpatrywanych cechach sygnałów,
- wartości cech sygnałów.

Zdecydowano, że wszystkie dane będą przekazywane do BDU w postaci odpowiednio przygotowanych plików XML. W celu przekazania kompletu informacji wprowadzono cztery rodzaje plików XML. W plikach tych będą przekazane następujące dane:

- informacje o obiekcie,
- informacje o rozpatrywanych cechach sygnałów,
- informacje o konfiguracji wektora danych,
- wektor danych.

### 8.2. Opis zastosowanego rozwiązania

W celu umożliwienia przekazywania danych z różnych źródeł do BDU DiaDyn oraz w celu umożliwienia pobierania zasobów tej BDU opracowano zestawy bibliotek i procedur, odpowiednio o nazwach „Zapis do BDU” oraz „Odczyt z BDU”.

#### 8.2.1. Formaty plików

Dane są przekazywane do BDU w postaci odpowiednio przygotowanych plików. Założono, że przekazywane pliki będą zapisane w formacie XML. Dzięki takiemu rozwiązaniu posiadają one jednolitą

składnię i w łatwy sposób można sprawdzać formalną poprawność ich treści. W procesie przesyłania plików z danymi do BDU zastosowany jest dedykowany walidator napisany w języku PHP, który pozwala na wykrywanie niezgodności formatu plików z ich specyfikacją.

Założono, że dane uczące pochodzące z dowolnego źródła będą wprowadzane do BDU w postaci następujących czterech plików:

- plik określający obiekt, z którym związane są dane,
- plik określający cechy sygnałów, których wartości przekazywane są do BDU,
- plik określający postać wektorów wartości cech sygnałów (w pliku tym określa się uporządkowanie cech w wektorze cech),
- plik z wektorami cech.

Wymagane jest przekazywanie plików do BDU w podanej kolejności.

Przekazywane pliki posiadają unikalne identyfikatory umożliwiające zapisywanie relacji występujących między tymi plikami. Założono, że zarządzanie identyfikatorami zapewniające ich unikalność będzie realizowane w ten sposób, iż każdemu zespołowi autorów zasobów BDU przydzielony będzie odpowiedni przedział wartości tych identyfikatorów.

W celu zapisania treści wymaganych plików niezbędna jest znajomość ich składni. Plik definiujący obiekt bądź grupę obiektów musi mieć następującą postać jak na Wydruku 8.1.

Wydruk 8.1: Postać pliku definiującego obiekt badań

```

1 <?xml version="1.0" encoding="ISO-8859-2" ?>
2 <!DOCTYPE objects SYSTEM "_objects.dtd">
3 <objects>
4   <version>
5     <ver_objects_id></ver_objects_id>
6     <ver_date></ver_date>
7     <ver_time></ver_time>
8     <ver_organisation></ver_organisation>
9     <ver_createdby></ver_createdby>
10    <ver_info_short></ver_info_short>
11    <ver_info_long></ver_info_long>
12    <ver_comment></ver_comment>
13  </version>
14  <object>
15    <object_id></object_id>
16    <name></name>
17    <location></location>
18    <info_short></info_short>
19    <info_long></info_long>
20    <comment></comment>
21  </object>
22  ...
23 </objects>

```

W każdym z rozpatrywanych plików XML występuje nagłówek. Nagłówki mają bardzo zbliżoną postać. W nagłówku wskazywany jest przede wszystkim sposób kodowania znaków w dokumencie. Przyjęto, że jest to ISO-8859-2 (Wydruk 8.1). Określono również nazwę pliku DTD (Document Type Definition) zawierającego definicję poprawnej składni pliku XML. W każdym pliku zapisana jest informacja o jego wersji obejmująca:

- identyfikator pliku z definicją/definicjami obiektów (`ver_objects_id`) np. abc0003,
- datę zdefiniowania pliku (`ver_date`) np. 2007-10-24,
- czas (`ver_time`) np. 20:34,
- instytucję lub jednostkę, która zapisała plik (`ver_organisation`) np. Politechnika Śląska,
- informację o osobie, która zapisała plik lub była odpowiedzialna za jego zapisanie (`ver_createdby`) np. Jan Kowalski,

- informacje dodatkowe w postaci skróconej (ver\_info\_short),
- informacje dodatkowe w postaci pełnej (ver\_info\_long),
- komentarz (ver\_comment).

W pliku z informacjami o obiekcie należy poza nagłówkiem wpisać także dane dotyczące obiektu lub grupy obiektów, obejmujące:

- identyfikator obiektu (object\_id) np. 004
- nazwę obiektu (name) np. turbozespół 13K215
- lokalizację obiektu (location) np. Kozienice
- skróconą informację o obiekcie (info\_short) np. turbozespół z turbiną 13K215
- pełną informację o obiekcie (info\_long)
- komentarz (comment)

Wydruk 8.2: Postać pliku definiującego cechy sygnałów

```

1 <?xml version="1.0" encoding="ISO-8859-2" ?>
2 <!DOCTYPE features SYSTEM "_features.dtd">
3 <features>
4   <version>
5     <ver_features_id></ver_features_id>
6     <ver_date></ver_date>
7     <ver_time></ver_time>
8     <ver_organisation></ver_organisation>
9     <ver_createdby></ver_createdby>
10    <ver_info_short></ver_info_short>
11    <ver_info_long></ver_info_long>
12    <ver_comment></ver_comment>
13  </version>
14  <feature>
15    <feature_id></feature_id>
16    <name></name>
17    <unit></unit>
18    <dim></dim>
19    <info_short></info_short>
20    <info_long></info_long>
21    <comment></comment>
22  </feature>
23  ...
24 </features>

```

Kolejnym plikiem jaki należy przekazać do BDU jest plik zawierający definicje uwzględnianych cech sygnałów (Wydruk 8.2). W pliku tym nagłówek oraz fragment związany z określeniem wersji pliku mają taką samą postać jak w przypadku pliku pokazanego na Wydruku 8.1. W dalszej części pliku należy zapisać informacje o stosowanych cechach sygnałów:

- identyfikator cechy sygnału (feature\_id) np. 007,
- nazwa cechy (name) np. drgl7,
- użyta skala (unit) np. 0.1,
- jednostka podstawowa (dim) np. mm/s,
- skróconą informację o cechach (info\_short) np. Drgania lozyska, 7
- pełną informację o cechach (info\_long) np. Maksymalna amplituda predkosci drgan obudowy lozyska 7 w kierunku pionowym,
- komentarz (comment).

Wydruk 8.3: Plik definiujący postaci wektorów cech sygnałów

```

1 <?xml version="1.0" encoding="ISO-8859-2" ?>
2 <!DOCTYPE configs SYSTEM "_config.dtd">
3 <configs>
4   <version>
5     <ver_configs_id></ver_configs_id>
6     <ver_date></ver_date>
7     <ver_time></ver_time>
8     <ver_organisation></ver_organisation>
9     <ver_createdby></ver_createdby>
10    <ver_info_short></ver_info_short>
11    <ver_info_long></ver_info_long>
12    <ver_comment></ver_comment>
13  </version>
14  <config>
15    <config_id></config_id>
16    <features_id></features_id>
17    <feature_id_vector></feature_id_vector>
18    <comment></comment>
19  </config>
20  ...
21 </configs>

```

Następnym z przekazywanych plików jest plik definiujący postaci wektorów cech. Podobnie jak w przypadku Wydruku 8.1 oraz Wydruku 8.2 plik pokazany na Wydruku 8.3 posiada taką samą postać nagłówka. W dalszej jego części zdefiniowano postaci wektorów cech przekazywanych w pliku z danymi. Na tę część pliku składają się :

- identyfikator konfiguracji (`config_id`) np. 002,
- identyfikator zestawu opisującego cechy - jest to wartość wpisywana w nagłówku pliku z definicją cech (`features_id`) np. abc009,
- wektor składający się z identyfikatorów cech zapisanych w pliku, na który wskazuje identyfikator (`features_id`) np. 003 002 008 009 007 010 012.

Dopuszcza się możliwość definiowania wektorów jednoelementowych. Należy zauważyć, że w pliku z definicjami wektorów można użyć definicji zestawów cech zapisanych przez inny zespół wprowadzający dane (numer zespołu wprowadzającego dane jest rozpoznawany na podstawie identyfikatorów `objects_id`, `features_id` oraz `configs_id`).

Wydruk 8.4: Plik z danymi

```

1 <?xml version="1.0" encoding="ISO-8859-2" ?>
2 <!DOCTYPE vectors SYSTEM "_vectors.dtd">
3 <vectors>
4   <version>
5     <ver_vectors_id></ver_vectors_id>
6     <ver_object_id></ver_object_id>
7     <ver_config_id></ver_config_id>
8     <ver_date></ver_date>
9     <ver_time></ver_time>
10    <ver_organisation></ver_organisation>
11    <ver_createdby></ver_createdby>
12    <ver_info_short></ver_info_short>
13    <ver_info_long></ver_info_long>
14    <ver_comment></ver_comment>
15  </version>
16  <vector>
17    <vector_id></vector_id>
18    <date></date>
19    <time></time>
20    <values></values>

```



```

21         <comment></comment>
22     </vector>
23     ...
24 </vectors>

```

Ostatnim z przekazywanych plików jest plik z danymi pobranymi z obiektu. Plik ten jako jedyny ma inną postać nagłówka. W nagłówku oprócz identyfikatora pliku z danymi (`ver_vectors.id`) określono:

- jakiego obiektu dotyczą dane (`ver_objects.id`)
- jaki plik konfiguracyjny definiuje postaci wektorów (`ver_configs.id`)

W ostatniej części pliku należy podać informacje na temat:

- identyfikatora wektora (`vector.id`),
- daty której dotyczą dane (`date`),
- czasu (`time`),
- wektora wartości cech (`values`),
- komentarza (`comment`).

We wszystkich definiowanych plikach pola `comments` oraz pola `info_long` nie są polami wymaganymi.

### 8.2.2. Schemat bazy danych uczących

Podczas przekazywania plików do BDU część danych zamieszczonych w plikach jest zapisywana w relacyjnej bazie danych założonej w serwerze baz danych MySQL, a pliki z danymi kopiowane są do BDU. Relacyjna baza danych składa się z następujących 12 tablic:

- `config` (Wydruk 8.5) - tablica ta przechowuje informacje o dostępnych konfiguracjach zestawów danych,
- `config_sets` (Wydruk 8.6) - tablica ta przechowuje informacje na temat tego w jaki sposób pogrupowane zostały zestawy konfiguracyjne,
- `configs` (Wydruk 8.7) - tablica ta przechowuje informacje na temat tego w jakim pliku zapisano konkretny zestaw konfiguracyjny,
- `feature` (Wydruk 8.8) - tablica ta przechowuje informacje o dostępnych cechach,
- `feature_sets` (Wydruk 8.9) - tablica ta przechowuje informacje o możliwych zestawach cech,
- `features` (Wydruk 8.10) - tablica ta przechowuje informacje na temat tego w jakim pliku zapisano konkretny zestaw cech,
- `object` (Wydruk 8.11) - tablica ta przechowuje informacje o dostępnych obiektach,
- `object_sets` (Wydruk 8.12) - tablica ta przechowuje informacje o możliwych grupach obiektów,
- `objects` (Wydruk 8.13) - tablica ta przechowuje informacje na temat tego w jakim pliku zapisano konkretną grupę obiektów,
- `vector` (Wydruk 8.14),
- `vector_sets` (Wydruk 8.15),
- `vectors` (Wydruk 8.16).

Relacyjną bazę danych przygotowano dla serwera baz danych MySQL.

Wydruk 8.5: Definicja tablicy `config`

```

1 CREATE TABLE 'config' (
2   config_id varchar(10) NOT NULL default '',
3   features_id varchar(10) NOT NULL default '',
4   feature_id_vector varchar(45) NOT NULL,
5   comment varchar(255) NOT NULL default '',
6   PRIMARY KEY (config_id)
7 )

```

Wydruk 8.6: Definicja tablicy config\_sets

```

1 CREATE TABLE config_sets (
2 id int(10) unsigned NOT NULL auto_increment,
3 configs_id varchar(10) NOT NULL default '',
4 config_id varchar(10) NOT NULL default '',
5 PRIMARY KEY (id)
6 )

```

Wydruk 8.7: Definicja tablicy configs

```

1 CREATE TABLE configs (
2 configs_id varchar(10) default NULL,
3 date varchar(45) default '-',
4 time varchar(45) default '-',
5 organisation varchar(45) default '-',
6 createdby varchar(45) default NULL,
7 info_short varchar(255) default '-',
8 info_long varchar(255) default '-',
9 comment varchar(255) default NULL,
10 fileno int(10) unsigned NOT NULL default '0',
11 filename varchar(255) NOT NULL default '',
12 a_id int(10) unsigned NOT NULL auto_increment,
13 PRIMARY KEY (a_id)
14 )

```

Wydruk 8.8: Definicja tablicy feature

```

1 CREATE TABLE feature (
2 feature_id varchar(10) NOT NULL default '',
3 name varchar(45) NOT NULL default '',
4 unit varchar(45) NOT NULL default '',
5 dim varchar(45) NOT NULL default '',
6 info_short varchar(255) NOT NULL default '',
7 info_long varchar(255) NOT NULL default '',
8 comment varchar(255) NOT NULL default '',
9 PRIMARY KEY (feature_id)
10 )

```

Wydruk 8.9: Definicja tablicy feature\_sets

```

1 CREATE TABLE feature_sets (
2 id int(10) unsigned NOT NULL auto_increment,
3 features_id varchar(10) NOT NULL default '',
4 feature_id varchar(10) NOT NULL default '',
5 PRIMARY KEY (id)
6 )

```

Wydruk 8.10: Definicja tablicy features

```

1 CREATE TABLE features (
2 features_id varchar(10) NOT NULL default '',
3 date varchar(45) default '-',
4 time varchar(45) default '-',
5 organisation varchar(45) default '-',
6 createdby varchar(45) default NULL,
7 info_short varchar(255) default '-',
8 info_long varchar(255) default '-',
9 comment varchar(255) default NULL,
10 fileno int(10) unsigned NOT NULL default '0',
11 filename varchar(255) NOT NULL default '',
12 id int(10) unsigned NOT NULL auto_increment,

```

```
13 PRIMARY KEY (id)
14 )
```

Wydruk 8.11: Definicja tablicy object

```
1 CREATE TABLE object (
2 object_id varchar(10) NOT NULL default '',
3 name varchar(255) default NULL,
4 info_short varchar(255) default NULL,
5 info_long varchar(255) default NULL,
6 location varchar(45) NOT NULL,
7 comment varchar(255) NOT NULL default '',
8 PRIMARY KEY (object_id)
9 )
```

Wydruk 8.12: Definicja tablicy object\_sets

```
1 CREATE TABLE object_sets (
2 id int(10) unsigned NOT NULL auto_increment,
3 objects_id varchar(10) NOT NULL default '',
4 object_id varchar(10) NOT NULL default '',
5 PRIMARY KEY (id)
6 )
```

Wydruk 8.13: Definicja tablicy objects

```
1 CREATE TABLE objects (
2 objects_id varchar(10) NOT NULL default '',
3 date varchar(45) default NULL,
4 time varchar(45) default NULL,
5 organisation varchar(45) default NULL,
6 createdby varchar(45) default NULL,
7 info_short varchar(255) default NULL,
8 info_long varchar(255) default NULL,
9 comment varchar(255) default NULL,
10 fileno int(10) unsigned NOT NULL default '0',
11 filename varchar(255) NOT NULL,
12 id int(10) unsigned NOT NULL auto_increment,
13 PRIMARY KEY (id)
14 )
```

Wydruk 8.14: Definicja tablicy vector

```
1 CREATE TABLE vector (
2 vector_id varchar(10) NOT NULL default '',
3 date1 varchar(45) NOT NULL default '',
4 time1 varchar(45) NOT NULL default '',
5 values1 varchar(255) NOT NULL default '',
6 comment1 varchar(255) NOT NULL default '',
7 PRIMARY KEY (vector_id)
8 )
```

Wydruk 8.15: Definicja tablicy vector\_sets

```
1 CREATE TABLE vector_sets (
2 id int(10) unsigned NOT NULL auto_increment,
3 vectors_id varchar(10) NOT NULL default '',
4 vector_id varchar(10) NOT NULL default '',
5 PRIMARY KEY (id)
6 )
```

Wydruk 8.16: Definicja tablicy vectors

```
1 CREATE TABLE vectors (  
2 vectors_id varchar(10) NOT NULL default '',  
3 date varchar(45) default '-',  
4 time varchar(45) default '-',  
5 organisation varchar(45) default '-',  
6 createdby varchar(45) default NULL,  
7 info_short varchar(255) default '-',  
8 info_long varchar(255) default '-',  
9 comment varchar(255) default NULL,  
10 fileno int(10) unsigned NOT NULL default '0',  
11 filename varchar(255) NOT NULL default '',  
12 object_id varchar(10) NOT NULL default '',  
13 config_id varchar(10) NOT NULL default '',  
14 id int(10) unsigned NOT NULL auto_increment,  
15 PRIMARY KEY (id)  
16 )
```

### 8.2.3. Scenariusz przekazywania danych do BDU

Przekazanie danych do BDU DiaDyn odbywa się wg następującego scenariusza:

- wskazywany jest rodzaj przekazywanych danych, gdzie możliwe jest wskazanie jednego z czterech wcześniej określonych typów przekazywanych danych (informacje o obiekcie, definicje cech sygnałów, konfiguracje, wektory wartości cech sygnałów),
- po wyborze typu danych i wyborze pliku XML zawierającego te dane jest on wczytywany do BDU,
- podczas wczytywania pliku następuje walidacja jego treści polegająca między innymi na sprawdzeniu czy wszystkie wymagane informacje zostały w nim zawarte,
- dla pliku o poprawnej treści sprawdzana jest unikalność występujących w nim identyfikatorów, które nie mogą występować wcześniej w BDU,
- jeśli występuje powtórzenie identyfikatorów w treści pliku i treści danych wpisanych już do bazy to użytkownik zostaje o tym poinformowany odpowiednim komunikatem
- jeżeli nie występują takie powtórzenia to dane są wprowadzane do BDU,
- po zakończeniu procesu wprowadzania danych użytkownik otrzymuje odpowiedni komunikat.

### 8.2.4. Scenariusz odczytu danych z BDU

Odczyt danych z BDU odbywa się według następującego scenariusza:

- wskazywany jest rodzaj odczytywanych danych (podobnie jak w przypadku zapisu danych do BDU można przeszukiwać informacje o obiektach, o cechach sygnałów o konfiguracjach lub wektorach wartości cech),
- wskazywany jest rodzaj szukanych informacji (możliwe jest przeszukiwanie np. na podstawie informacji o autorze pliku z danymi, na podstawie daty itp.),
- sformułowane jest zapytanie z użyciem składni języka SQL w celu wyszukiwania danych,
- wyświetlana jest informacja o zasobach spełniających podane warunki.

Dane z BDU pobierane są w postaci pliku XML.

### 8.2.5. Przekazywanie danych z BDU do środowiska MATLAB

Pliki XML pobrane z BDU DiaDyn mogą być importowane w środowisku MATLAB. Do importu należy użyć funkcji `xml_read()`. Funkcja ta wywołuje funkcję `xmlread` Matlaba, a następnie konwertuje dane wyjściowe tej funkcji na drzewo struktur Matlaba. Funkcja `xml_read` jest dostępna dla Matlaba począwszy od wersji R2006b. Można ją pobrać ze strony: <http://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/loadFile.do?objectId=12907&objectType=file>.

## 8.3. Przykład zastosowania

### 8.3.1. Przygotowanie pliku z danymi wejściowymi do BDU

Pliki zawierające dane przeznaczone do zapisania w BDU należy przygotować zgodnie z opisem przedstawionym w rozdziale 8.2.1.

### 8.3.2. Przykład przekazania pliku do BDU

Pliki z danymi są przesyłane do BDU DiaDyn za pośrednictwem przeglądarki WWW, według zestawu procedur i funkcji opracowanych w języku PHP. Podczas przesyłania danych zawartość każdego pliku jest walidowana. Jednocześnie uzupełniane są tablice zawierające opisy plików w bazie danych. W celu przesłania odpowiednio przygotowanego pliku lub zestawu plików do BDU DiaDyn należy w lewym panelu okna systemu DiaDyn odszukać pozycję „Zapis do BDU”. Pojawi się okno jak na rys. 8.1.



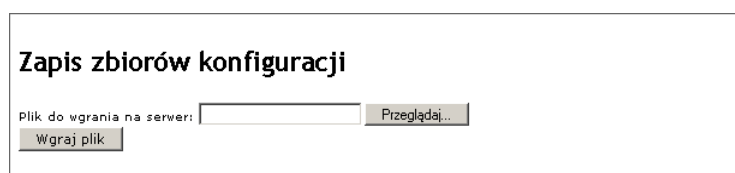
**Zapisywanie plików w bazie danych uczących**

Wybierz rodzaj zapisywanego pliku:

- Zbiory konfiguracji
- Zbiory obiektów
- Zbiory sygnałów
- Zbiory danych

Rys. 8.1: Postać okna głównego po wyborze opcji „Zapis do BDU”

Możliwe jest przesłanie plików zawierających definicje zbioru obiektów, zbioru sygnałów, zbioru konfiguracji oraz zbioru danych. Po wybraniu odpowiedniej opcji pojawi się okno (Rys. 8.2) umożliwiające wskazanie na dysku lokalnym użytkownika odpowiedniego pliku xml zawierającego przesyłany zbiór.

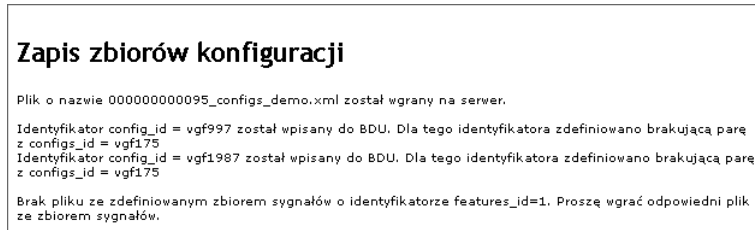


**Zapis zbiorów konfiguracji**

Plik do wgrania na serwer:

Rys. 8.2: Postać okna umożliwiającego wybór i przesłanie pliku do BDU

Jeśli plik posiada prawidłową strukturę oraz brak w nim błędów i w BDU nie występuje jeszcze plik o takim samym identyfikatorze, to uzupełniana jest zawartość BDU i pojawia się okno z podsumowaniem operacji przekazywania pliku (Rys. 8.3).



Rys. 8.3: Postać okna podsumowującego przesłanie pliku do BDU DiaDyn

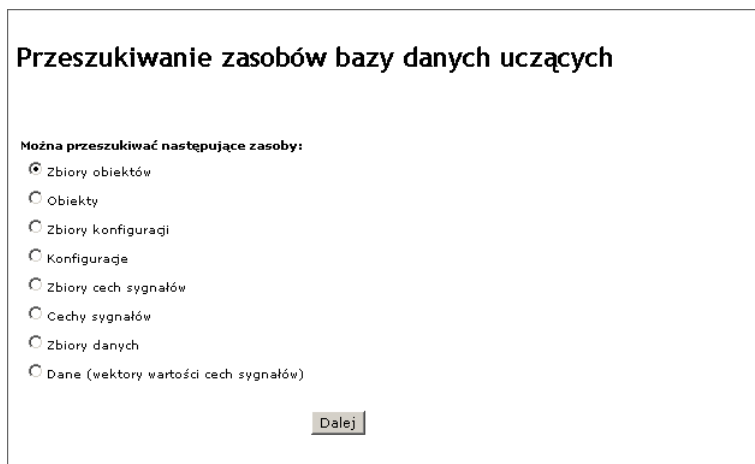
Jeżeli w BDU DiaDyn znajduje się już wcześniej zapisany plik z identyfikatorem określonym w nagłówku przesyłanego pliku (rozdział 8.2.1) to zostaje wyświetlony komunikat jak na Rys. 8.4.



Rys. 8.4: Postać okna informującego o wystąpieniu błędu

### 8.3.3. Przykład wyszukania i pobrania pliku z BDU

Zawartość BDU DiaDyn może być przeszukiwana i odczytywana za pośrednictwem przeglądarki WWW według zestawu procedur i funkcji opracowanych w języku PHP. W celu przeszukania BDU oraz odczytu pliku zawierającego poszukiwane dane należy w lewym panelu okna systemu DiaDyn odszukać pozycję „Odczyt z BDU”. Pojawi się okno jak na Rys. 8.5.

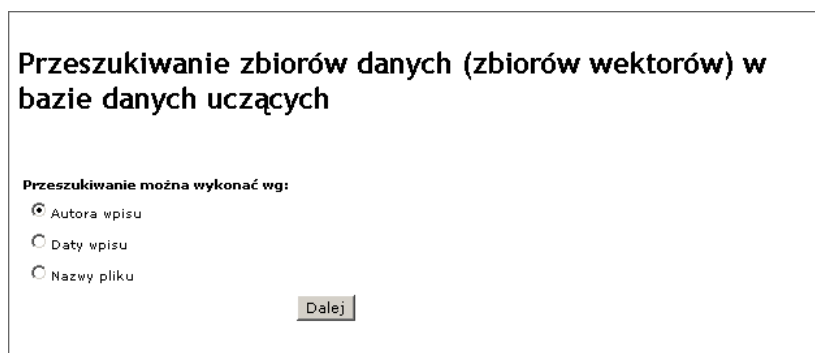


Rys. 8.5: Postać okna głównego po wyborze opcji „Odczyt z BDU”

Po wyborze rodzaju przeszukiwanych zasobów następuje przejście do okna umożliwiającego określenie warunku wyszukiwania. Zasoby zawierające definicje zbiorów obiektów, zbiorów konfiguracji, zbiorów cech sygnałów lub zbiorów danych mogą być przeszukiwane na podstawie autora wpisu, daty wpisu lub nazwy pliku (Rys. 8.6).

Zasoby zawierające definicje obiektów mogą być przeszukiwane na podstawie nazwy obiektu, lokalizacji obiektu lub znanych informacji o obiekcie (Rys. 8.7).

Zasoby zawierające definicje cech sygnałów mogą być przeszukiwane na podstawie nazwy cechy sygnału, skali, jednostki lub komentarza (Rys. 8.8).



**Przeszukiwanie zbiorów danych (zbiorów wektorów) w bazie danych uczących**

Przeszukiwanie można wykonać wg:

- Autora wpisu
- Daty wpisu
- Nazwy pliku

Dalej

Rys. 8.6: Postać okna pozwalającego na wybór wyszukiwanej informacji



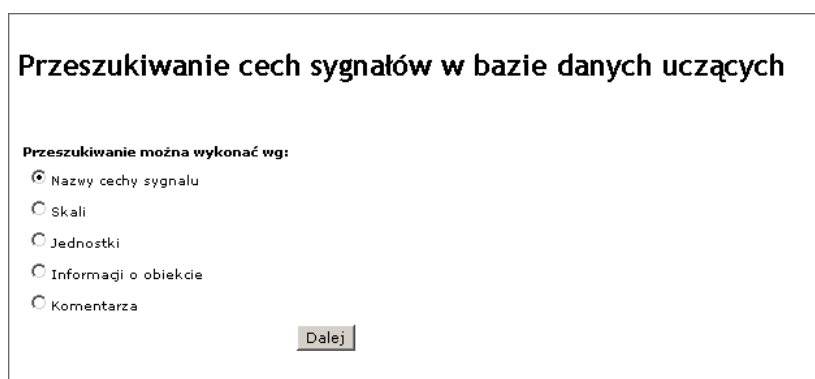
**Przeszukiwanie obiektów w bazie danych uczących**

Przeszukiwanie można wykonać wg:

- Nazwy obiektu
- Informacji o obiekcie
- Lokalizacji obiektu

Dalej

Rys. 8.7: Postać okna z wyborem wyszukiwanej informacji o obiekcie



**Przeszukiwanie cech sygnałów w bazie danych uczących**

Przeszukiwanie można wykonać wg:

- Nazwy cechy sygnału
- Skali
- Jednostki
- Informacji o obiekcie
- Komentarza

Dalej

Rys. 8.8: Postać okna z wyborem wyszukiwanej informacji o cechach sygnałów

Kolejnym krokiem jest określenie uściślenie warunku wyszukiwania (Rys. 8.9), zapisywanego z zastosowaniem składni języka SQL. Przykładowe warunki wyszukiwania pola o określonej treści mogą być następujące:

- % - akceptuje dowolną treść pola,
- Bartosz% - akceptuje pola, których treść rozpoczyna się od słowa „Bartosz” ,
- %g% - akceptuje pola, w których treści występuje znak „g”

Po zakończeniu wyszukiwania według zadanych warunków wyświetlana jest lista zasobów spełniających te warunki (Rys. 8.10). Na tej liście, w ostatniej kolumnie, wskazywane są pliki zawierające poszukiwane dane. Kliknięcie na wybrane wskazanie pliku umożliwia zapisanie znalezionej zasobu na dysku lokalnym.

### Przeszukiwanie obiektów w bazie danych uczących

Warunek wyszukiwania dotyczący pola opisującego **nazwę obiektu**:

Podczas wpisywania warunku wyszukiwania należy posługiwać się składnią języka SQL.

Przykłady warunków wyszukiwania rozpatrywanego pola:

- % - akceptuje dowolną treść pola,
- Bartosz% - akceptuje pola, których treść rozpoczyna się od słowa 'Bartosz',
- %g% - akceptuje pola, w których treści występuje znak 'g'

Rys. 8.9: Postać okna z możliwością określenia warunku wyszukiwania

### Wynik przeszukiwania obiektów w bazie danych uczących

Wynik przeszukiwania uwzględni wyłącznie te elementy bazy danych, które odpowiadają podanemu wcześniej warunkowi wyszukiwania.

Nazwa obiektu	Opis	Streszczenie	Lokalizacja obiektu	Nazwa pliku do pobrania
Rotor Kit	Stanowisko Rotor Kit	-	Konarskiego 18a, 44-100 Gliwice	_objects_demo.xml

Rys. 8.10: Postać okna z wynikami wyszukiwania

## Bibliografia

- [8.1] AB MySQL. Mysql 5.1 reference manual. 2007.
- [8.2] Team The DragonFly Documentation. The dragonfly documentation project. *DragonFly Handbook*, 2006.



# 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 diagnostujące. Decyzja o zastosowaniu systemu diagnostującego i określenie jego struktury musi zostać podjęta już na etapie planowania i projektowania bloku energetycznego.

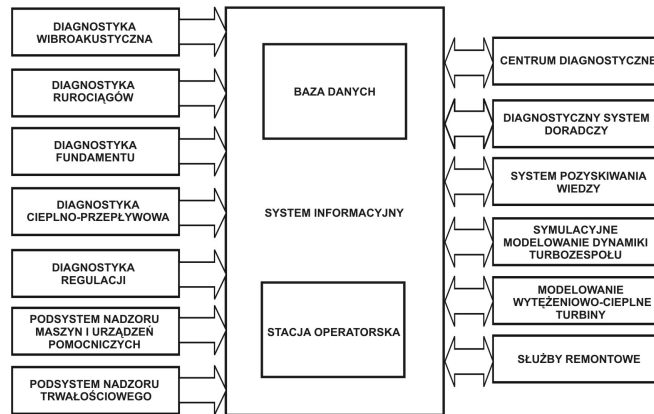
Współczesne systemy diagnostujące to złożone współdziałające ze sobą struktury różnego rodzaju sprzętu i oprogramowania [9.6]. Ze względu na strukturę i złożoność procesu realizowanego w bloku energetycznym [9.4] na proces diagnostowania bloku składają się równolegle realizowane zadania monitorowania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

- 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 diagnostujących 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 diagnostujących bloków energetycznych. Opis procesu projektowania systemów diagnostujących 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 licznej bazy 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 niewyrównowazenia momentowego oraz wyższych składowych drgań pochodzących np. od częstotliwości łopatkowych. Przykład zapisano w grupie tematycznej Zespół Testowy systemu DiaDyn [https://kpk.m.polsl.pl/dia\\_wiki/pmwiki.php?n=DiaWikiTEST.DiaWikiTEST](https://kpk.m.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

Przeoglądając 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 wiropędowy.
- 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.



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

DiaWiki / DiaWikiTEST Wyświetl Edytuj Nowa strona Historia zmian Załącz Wydrukuj

Diagnostyka wibroakustyczna maszyn wirnikowych - identyfikator: TemDiagnostykaMaszyn

**Opis**  
Temat grupuje hasła dotyczące zagadnień diagnostyki wibroakustycznej maszyn wirnikowych.

**Lista haseł**

- [Drgania względne](#)
- [Drgania bezwzględne](#)
- [Prędkości drgań](#)
- [Przemieszczenia drgań](#)
- [Przyspieszenia drgań](#)
- [Prędkość obrotowa](#)
- [Znacznik fazy](#)
- [Czujnik znacznika fazy obrotów wału](#)
- [Czujnik](#)
- [Czujnik elektrodynamiczny](#)
- [Czujnik wiroprowodowy](#)
- [Akcelerometr](#)
- [Niewyważenie](#)
- [Niewyważenie Momentowe](#)

**Bibliografia**

- [Cempel Cz.: Podstawy wibroakustycznej diagnostyki maszyn WNT, Warszawa, 1982.](#)
- [Cempel Cz.: Diagnostyka wibroakustyczna maszyn PWN, Warszawa, 1989.](#)

**Autorzy**  
[Fidali Marek](#)

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

DiaWiki / DiaWikiTEST Wyświetl Edytuj Nowa strona Historia zmian Załącz Wydrukuj

Pomiar drgań - identyfikator: TemPomiarDrgan

**Opis**  
Temat grupujący hasła związane z zagadnieniem pomiaru drgań mechanicznych.

**Lista haseł**

- [Drgania względne](#)
- [Drgania bezwzględne](#)
- [Prędkości drgań](#)
- [Przemieszczenia drgań](#)
- [Przyspieszenia drgań](#)
- [Prędkość obrotowa](#)
- [Znacznik fazy](#)
- [Czujnik znacznika fazy obrotów wału](#)
- [Czujnik](#)
- [Czujnik elektrodynamiczny](#)
- [Czujnik wiroprowodowy](#)
- [Akcelerometr](#)

**Autorzy**  
[Fidali Marek](#)

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 opisu jących 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 stwierdzeń: **Dobór elementów układu diagnozującego.**

Węzły należące 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 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 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 nieznanne i przyjmują wartość  $\mathbb{N}$ , 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 wartości stwierdzeń dla zadania - **Dobór elementów układu diagnozującego - zad nr 1**

Nazwa zbioru wartości stwierdzeń:

Wartosci domyslne dla

Nazwa stwierdzenia	Wartość stwierdzenia
Zastosuj akcelerometr	<input type="text" value="N"/>
Obserwuj położenie znacznika fazy na wale	<input type="text" value="N"/>
Zastosuj czujnik elektrodynamiczny	<input type="text" value="N"/>
Zastosuj czujnik prądów wirowych	<input type="text" value="N"/>
Masa wału jest duża	<input type="text" value="N"/>
Sztywność podpór łożyskowych jest duża	<input type="text" value="N"/>
Należy mierzyć drgania na dwóch podporach w kierunkach X i Y	<input type="text" value="N"/>
Należy mierzyć drgania na dwóch podporach w kierunku Y	<input type="text" value="N"/>
Należy mierzyć drgania na jednej podporze w kierunkach X i Y	<input type="text" value="N"/>
Należy mierzyć drgania na jednej podporze w kierunku Y	<input type="text" value="N"/>
Należy mierzyć drgania bezwzględne podpory łożyska	<input type="text" value="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 połozenia fazy na wale.

## Dia\_Sta

Wyniki dla zadania **Dobór elementów układu diagnostycznego - zad nr 1**

- [-] Zastosuj akcelerometr: 0.8726744
  - [-] Należy mierzyć przyspieszenia drgań: 0.88027996
    - [-] Należy mierzyć drgania bezwzględne podpory łożyska: 0.90139997
      - [-] Masa wału jest duża: 0.9
      - [-] Sztywność podpór łożyskowych jest duża: 0.9
      - [-] Istnieje potrzeba monitorowania drgań o wysokich częstotliwościach: 1.0
- [+] Obserwuj położenie znacznika fazy na wale: 0.5
- [+] Zastosuj czujnik elektrodynamiczny: 0.4806744
- [+] Zastosuj czujnik prądów wirowych: 0.6059181
- [+] Należy mierzyć drgania na dwóch podporach w kierunkach X i Y: 0.7708
- [+] Należy mierzyć drgania na dwóch podporach w kierunku Y: 0.6152
- [+] Należy mierzyć drgania na jednej podporze w kierunkach X i Y: 0.37720004
- [+] Należy mierzyć drgania na jednej podporze w kierunku Y: 0.21180002

[Rozwiń wszystkie](#)   [Zwiń wszystkie](#)

[Pobierz jako XML](#)   [Zachowaj jako listę wartości stwierżeń](#)

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

## Dia\_Sta

Wyniki dla zadania **Dobór elementów układu diagnostycznego - zad nr 1**

- [-] Zastosuj akcelerometr: 1.0
  - [-] Należy mierzyć przyspieszenia drgań: 0.9936899
    - [-] Należy mierzyć drgania bezwzględne podpory łożyska: 0.69441897
      - [+] Masa wału jest duża: 0.5512653
      - [+] Sztywność podpór łożyskowych jest duża: 0.5993265
      - [+] Istnieje potrzeba monitorowania drgań o wysokich częstotliwościach: 0.65459687
    - [+] Obserwuj położenie znacznika fazy na wale: 0.5
    - [+] Zastosuj czujnik elektrodynamiczny: 0.5703039
    - [+] Zastosuj czujnik prądów wirowych: 0.5573699
    - [+] Należy mierzyć drgania na dwóch podporach w kierunkach X i Y: 0.25287083
    - [+] Należy mierzyć drgania na dwóch podporach w kierunku Y: 0.2562201
    - [+] Należy mierzyć drgania na jednej podporze w kierunkach X i Y: 0.33660287
    - [+] Należy mierzyć drgania na jednej podporze w kierunku Y: 1.0

[Rozwiń wszystkie](#)   [Zwiń wszystkie](#)  
[Pobierz jako XML](#)   [Zachowaj jako listę wartości stwierdzeń](#)

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, Łągów Lubuski, 17-19 wrzesień 2001.



# 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 bicie olejowe, 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 niestacjonarne. 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 dość 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 naprężenia 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](#)

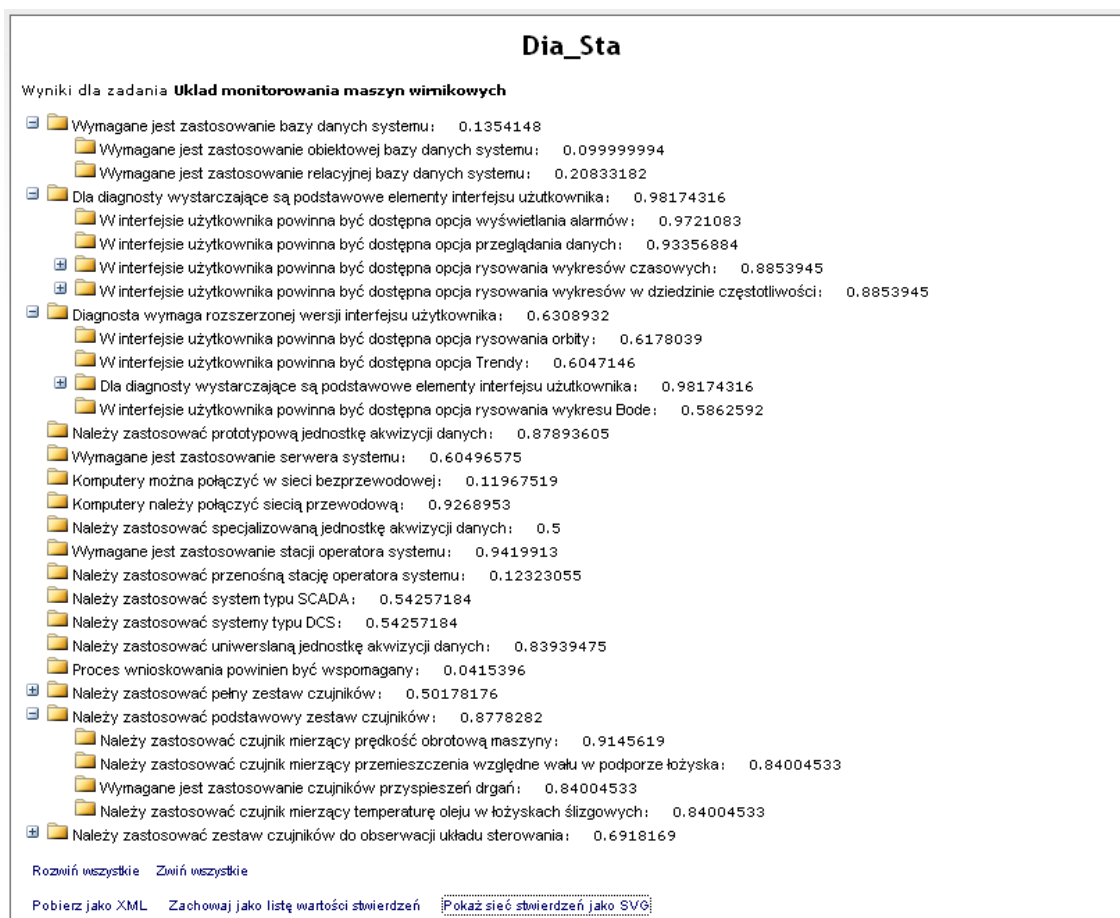
Rys. 10.7: Wyniki procesu wnioskowania dla zmienionych wartości stopni przekonania dla stwierdzeń wejściowych. Przykład 1

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 stwierżeń wejściowych. Przykład 2

Wyniki kolejnego uruchomienia zadania wnioskowania na tej sieci przedstawiono na Rys. 10.7. Warto zwrócić tutaj uwagę na fakt zmiany wartości stwierżeń wyjściowych. W porównaniu do otrzymanych wcześniej wyników nastąpił wzrost przekonania o prawdziwości wybranych stwierżeń. 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.

# Rozdział 11

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

Marek FIDALI

### 11.1. Wstęp

Diagnostyka termiczna stosowana jest wszędzie tam, gdzie na podstawie symptomów temperaturowych możliwe jest zidentyfikowanie stanu badanego obiektu. Obserwacja wartości temperatury jest jednym z najstarszych sposobów określania przyczyny występowania nieprawidłowości w funkcjonowaniu obiektu. Symptom, którym jest podwyższona temperatura, pozwala od wielu wieków diagnozować ludzkie choroby, czy też niesprawności maszyn i urządzeń. Do dzisiaj temperatura jest kluczowym symptomem diagnostycznym stosowanym w diagnostyce technicznej maszyn i urządzeń. Metody diagnostyki termicznej w zasadzie różnią się od siebie sposobem pomiaru temperatury, który determinuje sposób dalszego postępowania w celu identyfikacji stanu technicznego badanego obiektu. Istnieje wiele sposobów pomiaru temperatury i zjawisk cieplnych zachodzących w obiektach technicznych. Ogólnie można je podzielić na metody kontaktowe i bezkontaktowe. Metody kontaktowe wymagają ingerencji w strukturę obiektu i najczęściej wykorzystują punktowy pomiar temperatury realizowany przez różnego rodzaju czujniki (termistory, termopary itp.). Metody bezkontaktowe nie wymagają ingerowania w konstrukcję obiektu i umożliwiają zdalny pomiar temperatury jego powierzchni. Bezkontaktowe sposoby pomiaru temperatury bazują na pomiarach emisji promieniowania podczerwonego i w zależności od stosowanych urządzeń pozwalają dokonywać pomiarów punktowych (pirometry) oraz jednoczesnych pomiarów wielopunktowych w wyselekcjonowanym obszarze zainteresowania na powierzchni obiektu (kamery termowizyjne). Zaletą stosowania kamer termowizyjnych jest również możliwość wizualizacji rozkładu temperatury na obserwowanej powierzchni i jego zapisu w postaci obrazu, co pozwala na stosowanie do nich istniejących nowoczesnych rozwiązań w dziedzinie cyfrowego przetwarzania, analizy i rozpoznawania obrazów. Szeroko rozumiana diagnostyka termiczna ma bardzo obszerne zastosowanie. Nawet krótkie omówienie wszystkich jej aspektów i metod w ramach niniejszego opracowania nie byłoby możliwe. W opracowaniu skoncentrowano się na termicznych aspektach diagnozowania maszyn i urządzeń bloków energetycznych, z uwypukleniem metodyki diagnozowania bazującej na pomiarach termowizyjnych.

### 11.2. Zjawiska cieplne zachodzące w maszynach

Ciepło jest nieodłącznym zjawiskiem towarzyszącym maszynom i urządzeniom podczas ich działania. U podstaw powstawania energii cieplnej w maszynach i urządzeniach leżą zjawiska powodujące

rozpraszanie różnych rodzajów energii lub ilościową zmianę energii w układzie przez jej dodanie albo odebranie. Przykładem może być rozproszenie energii w wyniku występowania naturalnych procesów fizycznych takich jak tarcie, przepływ prądu lub reakcje chemiczne. Istnieją inne przyczyny rozpraszania energii związane głównie ze sposobem eksploatacji maszyny i powstawaniem niesprawności. Czynniki mającymi wpływ na zakłócenia równowagi cieplnej obiektu mogą być np.:

- kontrolowane zmiany w sterowaniu maszyny dokonane celowo przez operatora,
- niekontrolowane zmiany w sterowaniu maszyny wynikające z uszkodzeń napędu i urządzeń sterujących,
- pojawienie się niesprawności elementów maszyny i zakłócenia w ich wzajemnym współdziałaniu,
- zaburzenia w przepływie mediów roboczych,
- lokalne i globalne zmiany oporu cieplnego elementów i mediów roboczych.

Zjawisku powstawania ciepła zawsze towarzyszy proces cieplnego przepływu energii lub inaczej wymiany ciepła. Wymiana ciepła może dokonywać się na trzy sposoby, przez:

- przewodzenie,
- konwekcję,
- promieniowanie.

Całkowita ilość ciepła  $Q_C$  przepływająca między obiektem a otoczeniem można zdefiniować jako następującą sumę [11.1]:

$$Q_C = Q_P + Q_K + Q_R \quad (11.1)$$

gdzie:

- $Q_P$  – ilość ciepła przekazywana przez przewodzenie,
- $Q_K$  – ilość ciepła przekazywana przez konwekcję,
- $Q_R$  – ilość ciepła przekazywana przez promieniowanie.

### 11.2.1. Przepływ ciepła przez kondukcję (przewodzenie)

Przewodzenie ciepła zachodzi w ciałach stałych, w cieczach, a także w gazach. Polega na wymianie energii pomiędzy cząstkami obszarów ciała(a) o różnej temperaturze. W ciałach stałych wymiana ta zachodzi dzięki drgającemu ruchowi atomów oraz ruchowi swobodnemu elektronów. Warunkiem zaistnienia przepływu są występujące w danym ciele różnice temperatur. Przepływ ciepła wyłącznie przez przewodzenie odbywa się w ciałach stałych nieprzenikliwych dla promieniowania temperaturowego.

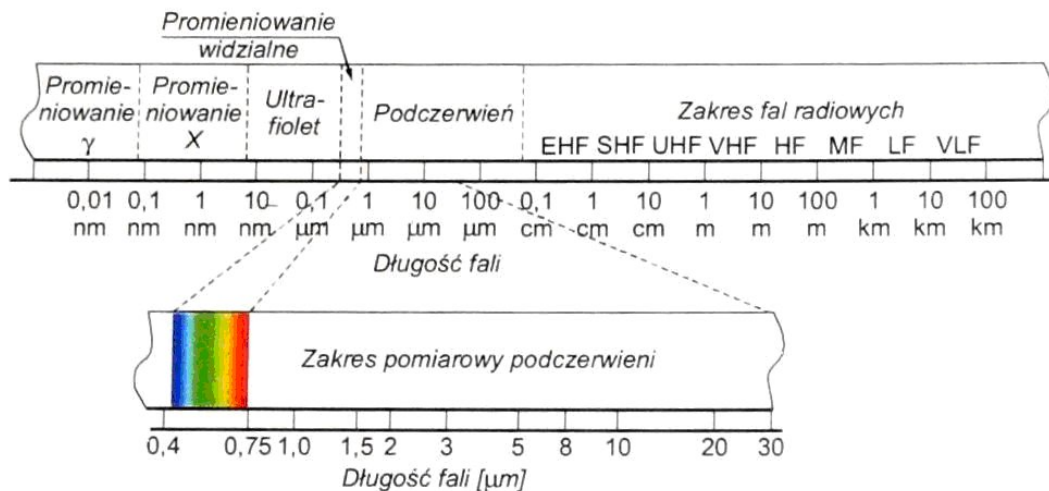
### 11.2.2. Przepływ ciepła przez konwekcję

Konwekcja (unoszenie ciepła) polega na przekazywaniu energii w wyniku makroskopowego ruchu substancji. Cząsteczki medium są w tym procesie nośnikami energii, toteż kierunek ruchu strumienia cząsteczek jest kierunkiem przekazywania ciepła. W różnych urządzeniach technicznych najważniejszym konwekcyjnym ruchem ciepła jest ruch zachodzący pomiędzy poruszającą się substancją a nieruchomą powierzchnią ciała stałego. Taki konwekcyjny ruch ciepła nazywa się konwekcyjnym przejmowaniem (wnikaniem) ciepła. Rozróżnia się konwekcję swobodną i konwekcję wymuszoną. W przypadku konwekcji swobodnej ruch cząsteczek przenoszących ciepło jest spowodowany tylko istniejącymi różnicami temperatury środowiska i danego ciała stałego (istotne znaczenie ma siła pola grawitacyjnego). W przypadku konwekcji wymuszonej ruch cząsteczek środowiska jest wywołany środkami technicznymi (np.: pompy, wentylatory, dmuchawy).



### 11.2.3. Przepływ ciepła przez radiację (promieniowanie)

Radiacja (promieniowanie ciepła) polega na przekazywaniu energii pomiędzy ciałami lub częściami tego samego ciała za pośrednictwem temperaturowego promieniowania elektromagnetycznego (inkadescencyjnego). Wszystkie ciała, których temperatura jest wyższa od zera bezwzględnej w skali Kelwina ( $-273,150^{\circ}\text{C}$ ) emitują promieniowanie cieplne (termiczne). Promieniowanie termiczne może występować przy dowolnych długościach fal zawartych między  $0$  a  $\infty$ . Ze względu na wymianę ciepła najbardziej istotne jest promieniowanie w zakresie długości fal  $0,4 - 1000 [\mu\text{m}]$ , czyli obejmujące zakres fal świetlnych (promienia widzialnego) oraz bliskiej i dalekiej podczerwieni (rys. 11.1).



Rys. 11.1: Widmo elektromagnetyczne z zaznaczonym zakresem promieniowania cieplnego [11.4]

Pasmo podczerwieni jest często dzielone na cztery węższe pasma, których granice są również przyjęte umownie. Są to:

- bliska podczerwień  $0,78 - 3 [\mu\text{m}]$ ,
- pośrednia podczerwień  $3 - 6 [\mu\text{m}]$ ,
- daleka podczerwień  $6 - 15 [\mu\text{m}]$ ,
- bardzo daleka podczerwień  $> 15 [\mu\text{m}]$ .

Źródłem promieniowania energii cieplnej są drgania atomów wokół stanu równowagi. Promieniowanie termiczne można rozpatrywać jako fale elektromagnetyczne lub jako zbiory kwantów energii promieniowania tzw. fotonów.

Fale elektromagnetyczne podlegają określonym prawom fizycznym, do których należą [11.4]:

1. Prawo Plancka, określające zależność między gęstością mocy promieniowania, jego rozkładem widmowym oraz temperaturą ciała doskonale czarnego.

$$W_{\lambda T} = C_1 / \lambda^5 (e^{C_2 / \lambda T} - 1)^{-1} \quad (11.2)$$

gdzie:

$\lambda$  – długość fali  $[\mu\text{m}]$ ,

$T$  – temperatura bezwzględna  $[K]$ ,

$C_1$  – stała  $3,7415 \cdot 10^{-16} [W \cdot m^2]$ ,

$C_2$  – stała  $14388 [\mu\text{m} \cdot K]$ .

2. Prawo Stefana-Boltzmann, określające gęstość mocy promieniowania wysyłanego przez ciało doskonale czarne w zależności od długości fali w danej temperaturze

$$W = \int_{\lambda=\infty}^{\lambda=0} W_{\lambda T} \alpha \lambda = \sigma T^4 \quad (11.3)$$

gdzie:

$$\sigma - \text{stała} = 5,670400 \cdot 10^{-8} [W/m^2 K^4].$$

3. Prawo przesunięć Wiena określające długość fali, dla której gęstość mocy promieniowania  $W_T$ , dla danej temperatury osiąga wartość maksymalną

$$\lambda_m T = B \quad (11.4)$$

gdzie:

$$B = 2897,8 [\mu m \cdot T].$$

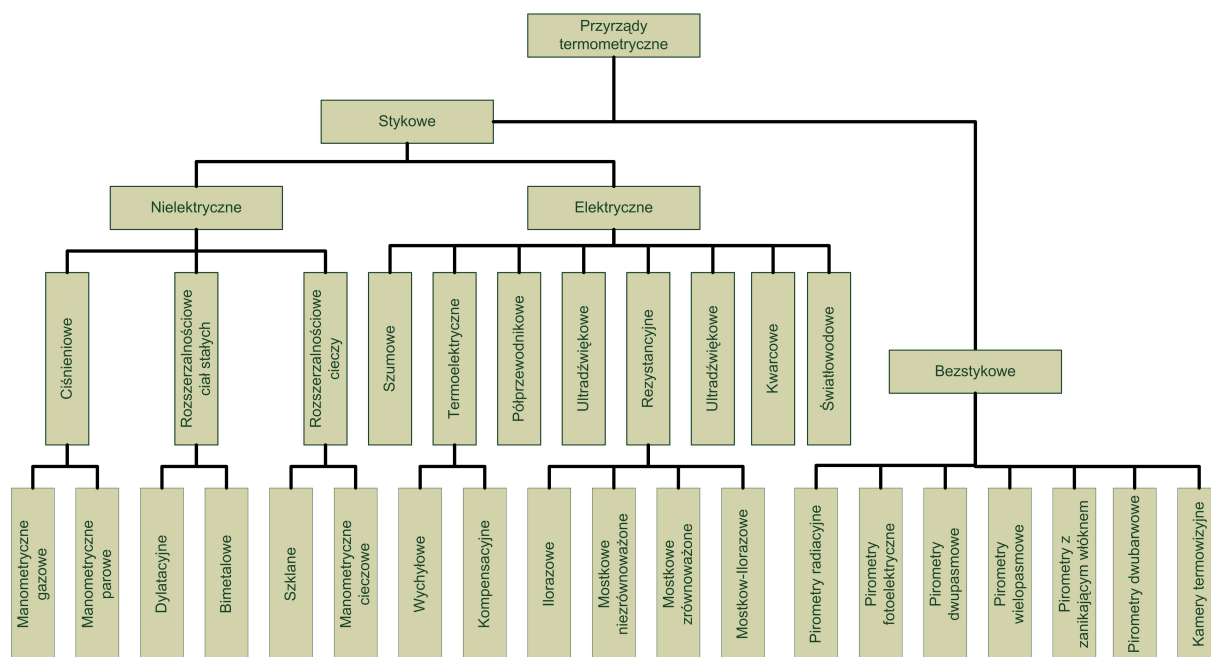
Wymienione prawa odnoszą się dla ciała doskonale czarnego. W praktyce większość materiałów i powierzchni to *ciała szare*, które częściowo pochłaniają, częściowo odbijają i częściowo przepuszczają promieniowanie. Właściwości promienne takich ciał można scharakteryzować współczynnikiem emisyjności  $\epsilon$ , którego wartość jest zawsze mniejsza od jedności  $\epsilon < 1$  (dla ciała doskonale czarnego  $\epsilon = 1$ ) i zależy od parametrów fizyko-chemicznych materiału.

### 11.3. Metody pomiaru temperatury

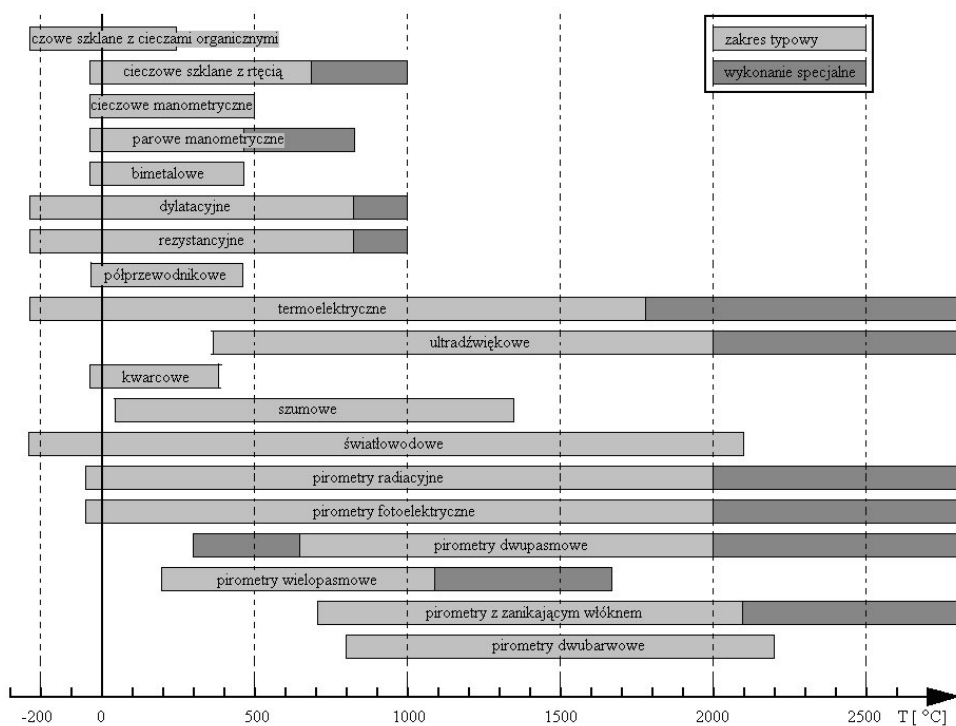
Wszelkie procedury i metody diagnostyki termicznej nierozdzielnie związane są z koniecznością pomiaru temperatury. Istnieją różnorodne metody i narzędzia pozwalające mierzyć temperaturę w sposób kontaktowy i bezkontaktowy, w szerokim zakresie i z różną dokładnością. Na rysunku 11.2 przedstawiono klasyfikację przyrządów do pomiaru temperatury, natomiast rysunek 11.3 przedstawia zakresy pomiarowe wybranych urządzeń.

#### 11.3.1. Stykowe metody pomiaru temperatury

Stykowe metody pomiaru temperatury wykorzystują czujniki (termometry) o różnej konstrukcji. Ich zasada działania w większości przypadków polega na przetworzeniu wielkości nieelektrycznej jaką jest temperatura na wielkości elektryczne. Pomiaru dokonuje się przez bezpośredni kontakt termometru z badanym obiektem co wymaga ingerencji w strukturę obiektu w celu zamocowania czujnika w taki sposób, aby czujnik osiągał podczas pomiaru temperaturę obiektu oraz zapewniał małą wartość rezystancji cieplnej styku. Miejsce i sposób zamocowania czujnika na obiekcie ma decydujący wpływ na dokładność uzyskiwanego pomiaru. Podstawą działania wszystkich czujników jest przepływ ciepła. Przepływ ciepła związany jest z istnieniem opóźnień pomiarowych w czujnikach wynikających z pojemności cieplnej środowiska i czujnika oraz oporu cieplnego. Wynika z tego, że opóźnienia pomiarowe są tym większe im większe rozmiary czujnika i mniejsza pojemność cieplna badanego ośrodka. Konstrukcja czujnika powinna być dostosowana do obiektu w taki sposób, aby zmiany temperatury obiektu, spowodowane zastosowaniem czujnikiem, nie wprowadzały zakłóceń w działaniu obiektu przy jednoczesnym zapewnieniu właściwej informacji pomiarowej. Czujniki temperatury działają w torach pomiarowych, składających się często z wielostopniowych przetworników, które mają za zadanie dopasowanie sygnału wyjściowego czujnika do wymagań obwodu wejściowego współpracującego z czujnikiem przyrządu lub układu pomiarowego. Niejednokrotnie celem przetwarzania sygnałów elektrycznych czujników jest ich normalizacja np. do standardów stosowanych w systemach pomiarowych. Zadania wielokrotnego przetwarzania sygnału elektrycznego z czujnika temperatury mogą być realizowane w specjalizowanych przetwornikach scalonych, tworzących pod względem konstrukcyjnym



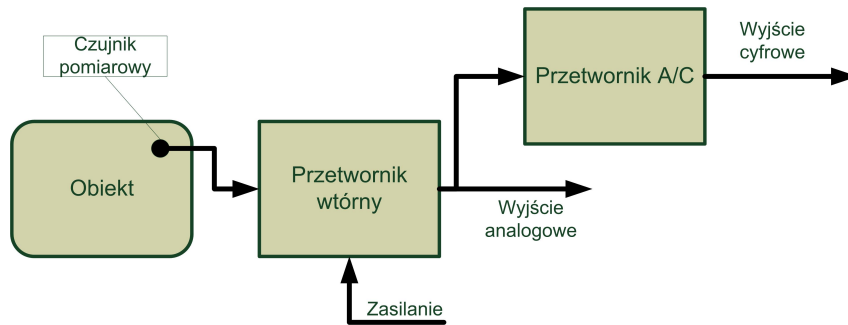
Rys. 11.2: Klasyfikacja przyrządów do pomiaru temperatury (na podstawie [11.8] [11.11])



Rys. 11.3: Zakresy temperatur mierzone przez różne termometry [11.11]

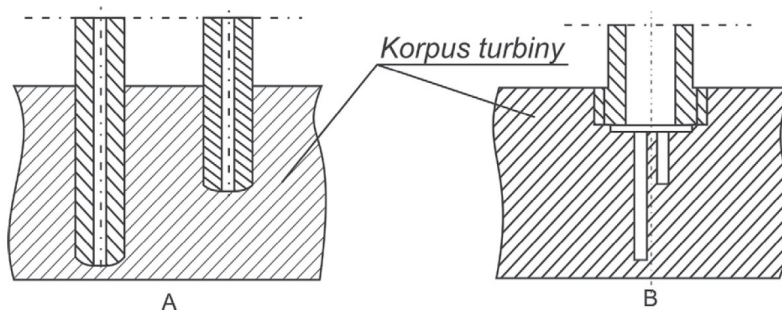
jedną całość razem z czujnikiem. Typowy ogólny schemat blokowy układu do pomiaru temperatury metodami elektrycznymi przedstawiono na rysunku 11.4.

Dobór termometru wykonywany jest zwykle na podstawie jego zakresu pomiarowego. W



Rys. 11.4: Ogólny schemat blokowy układu do pomiaru temperatury metodami elektrycznymi [11.11]

przypadku pomiarów temperatury prowadzonych na urządzeniach bloków energetycznych powszechnie stosowane są czujniki termoelektryczne (termopary). Do pomiaru temperatury łożysk turbozespołu zaleca się stosowanie termopar K, J lub termorezystora Pt100 [11.13]. W praktyce mierzy się temperaturę panewek dolnych łożysk ślizgowych w jednym lub dwóch punktach na jednej panewce oraz temperaturę klocków pracujących i nie pracujących łożyska oporowego. Czujniki podłączone są do wzmacniacza pomiarowego skąd sygnał prądowy, w standardzie 4-20mA, proporcjonalny do mierzonej temperatury przesyłany jest do układów przetwarzania, gdzie wypracowywane są sygnały dwustanowe dla układów zabezpieczeń oraz sygnał dla celów diagnostycznych przekazywany dalej do układów diagnozujących [11.14]. Na rysunku 11.5 zaprezentowano sposób pomiaru różnic temperatur w grubościennych korpusach turbin lub zaworów za pomocą sond termoparowych. Termopary mierzą



Rys. 11.5: Przykład przygotowania grubościennych korpusów do pomiaru różnic temperatur za pomocą sond termoparowych [11.14]

temperaturę metalu dochodzącą do  $450^{\circ}\text{C}$ , a różnica temperatur na grubości metalu korpusu nie przekracza zwykle  $50^{\circ}\text{C}$ . W tego typu pomiarach pożądana dokładność wynosi około 2%.

Od termometrów stosowanych w diagnostyce termicznej turbozespołów wymagana jest duża niezawodność, gdyż możliwość ich wymiany zachodzi tylko podczas remontów. Do zalet termometrów stykowych należy stosunkowo prosta konstrukcja, duża niezawodność, niski koszt i stosunkowo prosty układ pomiarowy. Wadą termometrów stykowych jest bezwładność cieplna ograniczająca pomiar zmiennych temperatur, konieczność dobrego styku z obiektem (mała rezystancja cieplna), możliwość zakłócania pola temperaturowego obiektu, spowodowana przepływem ciepła między obiektem a czujnikiem, ograniczenie pomiarów obiektów o małych wymiarach, ruchomych, trudnodostępnych i działających w agresywnym środowisku.

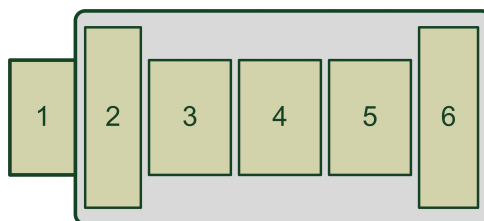
### 11.3.2. Bezstykowe metody pomiaru temperatury

Urządzenia do bezkontaktowych pomiarów temperatury można podzielić na takie, które mierzą temperaturę w określonym punkcie lub rejestrują jej rozkład na powierzchni. Działanie urządzeń do bezkontaktowego pomiaru temperatury opiera się na rejestracji promieniowania podczerwonego emitowanego przez badane objekty.

Do bezkontaktowych pomiarów punktowych są stosowane pirometry oraz specjalne głowice pomiarowe. Urządzenia te zbudowane są z układu optycznego, detektora podczerwieni i modułu elektronicznego przetwarzającego sygnał elektryczny na wartość temperatury. Wynik pomiaru może być dostępny w postaci cyfrowej na monitorze pirometru lub w formie sygnału, np. w standardzie 4..20 mA. Należy pamiętać, że określenie pomiar punktowy jest umowne i w rzeczywistości wielkość obszaru, z którego dociera promieniowanie podczerwone, jest uzależniona od układu optycznego przyrządu i od odległości, z jakiej prowadzony jest pomiar. Na przykład, z odległości 2m prosty pirometr mierzy średnią temperaturę z obszaru koła o średnicy ok. 70 mm. Oznacza to, że precyzyjny pomiar temperatury obiektów o niewielkich rozmiarach z dużych odległości jest niemożliwy, ponieważ pirometr uśredni temperaturę obiektu oraz jego tła. Wynik pomiaru może być obarczony dużym błędem.

W przypadku obserwacji rozkładu temperatury na powierzchni stosowane są urządzenia obrazowań termicznych nazywane kamerami termowizyjnymi lub termograficznymi. Pojęcia termografia i termowizja stosowane są wymiennie, aczkolwiek ze względu na zasadę działania współczesnych urządzeń obrazowania w podczerwieni bardziej uzasadnione jest stosowanie pojęcia termowizja [11.6]. Rozróżnia się kamery termowizyjne pomiarowe i obserwacyjne. Urządzenia te w obu przypadkach umożliwiają wizualizację i rejestrację rozkładu temperatury w postaci kolorowych termogramów, co w przypadku kamer obserwacyjnych jest wystarczające, gdyż w celu wykrycia odstępstw od prawidłowych warunków termicznych obiektu dokonuje się porównania obrazów termowizyjnych zarejestrowanych w różnych chwilach eksploatacji obiektu. W przypadku gdy zachodzi konieczność wykonywania dokładnych pomiarów temperatury (dokładność pomiaru zależy od wielu czynników), stosowane są kamery pomiarowe. Są one o droższe od kamer obserwacyjnych, gdyż posiadają wbudowane wzorce temperatury odniesienia potrzebne do automatycznej kalibracji i bardziej zaawansowane oprogramowanie pozwalające na kompensację wpływu warunków zewnętrznych. Na rysunku 11.6 przedstawiono ogólną budowę kamery termowizyjnej. Do podstawowych podzespołów kamery termowizyjnej zaliczyć należy [11.4]:

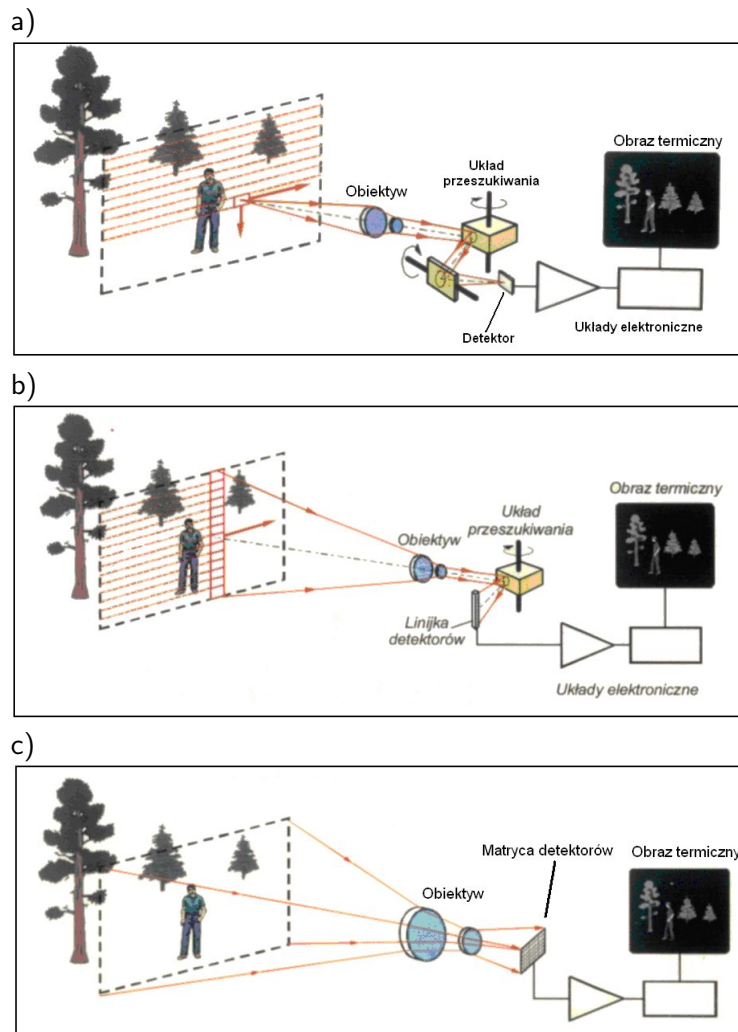
1. układ optyczny,
2. układ detekcji (detektor) z lub bez układu chłodzenia,
3. zespół elektroniczny toru wzmacnienia i odczytu sygnału z detektora,
4. elektroniczne zespoły przetwarzania, rejestracji i analizy sygnałów,
5. zespół pamięci wewnętrznej i interfejs komunikacyjny,
6. zespół wizualizacji obrazów (ekran LCD).



Rys. 11.6: Schemat blokowy kamery termowizyjnej

W kamerach termowizyjnych, w zależności od budowy układu detekcji kamery termowizyjnej, obraz termograficzny może być formowany w różny sposób, co pokazano na rysunku 11.7. Bez względu

na różnice w układzie detekcji, główna zasada działania kamer termowizyjnych jest taka sama. Promieniowanie podczerwone, przechodząc przez obiektyw pada na detektor podczerwieni, gdzie generowane są sygnały elektryczne proporcjonalne do mocy padającego promieniowania podczerwonego. Sygnały elektryczne z detektora przez układy wzmacniające przekazywane są do układów elektronicznych gdzie są przetwarzane i analizowane. Układy elektroniczne bazują na układach mikroprocesorowych i specjalizowanych układach scalonych, których celem jest wygenerowanie, wyświetlenie, zmagazynowanie obrazów termowizyjnych, a także przesłanie ich do urządzeń zewnętrznych.



Rys. 11.7: Metody formowania obrazu termowizyjnego a) z wykorzystaniem pojedynczego detektora, b) z wykorzystaniem linijki detektorów, c) z wykorzystaniem matrycy detektorów [11.4]

Wartości temperatur na obrazie termowizyjnym reprezentowane są przez kolory należące do umownie przyjętej palety barw. Rozdzielczość przestrzenna kamer jest wyższa niż pirometrów. Przykładowo, kamera o rozdzielczości 0,6K umożliwia poprawny pomiar temperatury obiektów o wymiarach  $6 \times 6$  mm z odległości 10 m. Wybór urządzenia zależy od potrzeb, wymaganej dokładności i rodzaju obserwowanych zjawisk. Aktualnie do inspekcji termowizyjnej i zastosowań ogólnych stosuje się kamery z niechłodzonymi bolometrycznymi matrycami detektorów. Typowe matryce pozwalają uzyskać obraz o rozdzielczości  $320 \times 240$  pikseli, występują też kamery o wyższej rozdzielczości matrycy, jednak są one znacznie droższe. W przypadku zapotrzebowania na dokładne pomiary lub stabilne obserwacje stosowane są kamery z pojedynczym detektorem. Tego typu urządzenia są łatwiejsze w kalibracji, jednak posiadają ograniczenia w szybkości działania.

Prawidłowe wykonywanie pomiarów temperatury metodami bezkontaktowymi, a w szczególności urządzeniami termowizyjnymi nie jest zadaniem prostym, ponieważ podczas obserwacji do kamery dociera nie tylko promieniowanie emitowane przez obserwowany obiekt ale składniki promieniowania z otoczenia, które zakłócają pomiar. Do obiektywu kamery może docierać [11.4]:

1. Promieniowanie obserwowanego obiektu równe  $\epsilon\tau W_o$ , gdzie  $\epsilon$  jest emisyjnością obiektu,  $\tau$  jest współczynnikiem przepuszczalności atmosfery.
2. Promieniowanie odbite od obiektu pochodzące ze źródeł w otoczeniu i wynoszące  $(1 - \epsilon)\tau W_t$ , gdzie  $(1 - \epsilon)$  jest refleksyjnością obiektu. Należy pamiętać, że emisyjność otoczenia jest równa jedności. Założenie takie jest poprawne, gdyż dla dłuższego odcinka czasu całe promieniowanie padające na powierzchnię w otoczeniu zostaje w końcu wchłonięte.
3. Promieniowanie atmosfery, równe  $(1 - \tau)W_a$ , gdzie  $(1 - \tau)$  jest emisyjnością atmosfery.

Całkowita moc promieniowania odbierana przez kamerę jest sumą wszystkich składników promieniowania i wynosi:

$$W_c = \epsilon\tau W_o + (1 - \epsilon)\tau W_t + (1 - \tau)W_a \quad (11.5)$$

Ponadto na obserwowaną wartość temperatury mają wpływ takie czynniki jak:

- atmosfera znajdująca się na drodze pomiaru i tłumiąca promieniowanie. Tłumienie to jest zależne od:
  - wilgotności powietrza,
  - zapylenia.
- rodzaj i stan powierzchni obserwowanego obiektu,
- otaczające źródła promieniowania (grzejniki, piece, samochody, ogniska itp.),
- atmosferyczne źródła ciepła (słońce, chmury itp.).

Niektóre zakłócenia są tak małe, że w praktyce są one pomijane. W przypadku większych zakłóceń nie można ich pominąć i należy ich wpływ uwzględnić poprzez np.:

- zmianę układu pomiarowego, tak aby uniknąć lub też zmniejszyć wpływ zakłóceń,
- zmianę kierunku obserwacji,
- ekranowanie silnych źródeł promieniowania,
- przeprowadzenie obserwacji w innym czasie, np. aby uniknąć wpływu promieniowania słonecznego.

Promieniowanie słoneczne wprowadza znaczne błędy pomiarowe, szczególnie jeśli badany obiekt cechuje się małą emisyjnością (np. elementy o powierzchniach chromowanych, polerowane aluminium). W zakresie widmowym pracy kamer krótkofalowych natężenie promieniowania Słońca jest ponad 15 razy większe niż w zakresie długofalowym. Dlatego też do pomiarów obiektów znajdujących się w wolnej przestrzeni używa się częściej kamer długofalowych, zwłaszcza w dniach o silnym nasłonecznieniu. Dla uzyskania dokładnych wyników pomiaru temperatury kamerą termowizyjną, niezbędne jest skompensowanie wpływu różnych zakłócających pomiar, źródeł promieniowania. Pełne wyeliminowanie wszystkich zakłócających źródeł promieniowania jest oczywiście niemożliwe. W wielu typach kamer termowizyjnych częściowa kompensacja zakłóceń dokonywana jest automatycznie przez kamerę, po wprowadzeniu przez użytkownika następujących danych:

- emisyjność obiektu,
- temperatura otoczenia,
- odległość między obiektem a kamerą,
- względna wilgotność atmosfery.

Ponadto niektóre kamery termowizyjne (bądź też programy do analizy termogramów) umożliwiają kompensację wpływu na pomiar temperatury takich czynników jak:

- temperatura elementów optycznych kamery,
- współczynnika przepuszczania zewnętrznych elementów optycznych,
- temperatura i transmitancja atmosfery.

Z powyższych rozważań wynika, że zaletami termometrów bezstykowych są: zdalny pomiar temperatury obiektu, brak zakłóceń pola temperaturowego obiektu, w przypadku urządzeń termowizyjnych, uzyskanie obrazu temperaturowego całego obiektu, bądź jego wybranych fragmentów, które mogą być przedstawione w postaci obrazów pseudoprzestrzennych. Na podstawie obrazów możliwe jest uzyskanie profili temperaturowych wzdłuż wybranych linii, automatyczne diagnozowanie przez porównanie z obrazem wzorcowym, cyfrowe zobrazowanie żądanych parametrów.

Do wad bezstykowych pomiarów temperatury zalicza się wpływ wartości współczynnika emisyjności obiektu, zapylenia, zawartości pary wodnej oraz gazów w powietrzu znajdującym się między obiektem a przyrządem na jego wskazanie, większy koszt w stosunku do termometrów stykowych, dotyczy to szczególnie urządzeń termowizyjnych.

### 11.3.3. Metodyka pomiarów termowizyjnych

Aby prawidłowo przeprowadzić pomiar za pomocą kamery termowizyjnej konieczna jest znajomość konstrukcji obiektu oraz zastosowanych materiałów i ich parametrów fizykochemicznych. Istotną rolę odgrywają warunki środowiskowe i techniczne obiektu. Prawidłowo dokonany pomiar rozkładu temperatury opiera się na znajomości współczynnika emisyjności obiektu i temperatury otoczenia oraz innych czynników środowiskowych, których wartości wprowadzane są do kamery termowizyjnej przed wykonaniem pomiarów. Warunki techniczne dotyczą przede wszystkim stabilności głównych parametrów pracy obiektu, gdyż wpływa to na rozkład temperatury powierzchni. Dotyczą również stabilności pracy wszystkich urządzeń towarzyszących, które mogą mieć wpływ konwekcyjny lub promienisty na obiekt badań [11.4],[11.6]. Aby przystąpić do pomiarów kamerą termowizyjną należy się najpierw upewnić czy:

- zapewniony jest dostęp optyczny do powierzchni podlegających badaniu pod odpowiednim kątem i z odpowiedniej odległości,
- obiekt musi być odpowiednio obciążony,
- obiekt musi być gotowy do przeprowadzenia badania we właściwym czasie i miejscu,
- niezbędna jest asysta osoby znającej obiekt, jego historię, uwarunkowania techniczne, regulacyjne i eksploatacyjne.

Wykonywanie badań termograficznych powinno być zgodne z następującymi zasadami:

- wykonawcą badań powinien być pracownik o odpowiednim przygotowaniu ogólnym, odpowiednim przeszkoleniu i doświadczeniu oraz wiedzy o obiekcie;
- badanie powinno odbyć się za pomocą sprawnego i skalibrowanego sprzętu;
- obiekt badań powinien być odpowiednio przygotowany i obciążony;
- badania powinny odbywać się wyłącznie w odpowiednich warunkach środowiskowych (tzn. nie powinny być wykonywane podczas ekstremalnych zjawisk meteorologicznych)
- wykonawca badań powinien natychmiast reagować na stwierdzone znaczne anomalie w rozkładzie i wartości temperatury powiadamiając o tym użytkownika obiektu.

Uzyskane wyniki z pomiarów przedstawia się w postaci sprawozdań, które powinny zawierać:

- listę elementów badanych, ich umiejscowienie i stan pracy;



- wszystkie niezbędne elementy oraz przyczyny (np. niedostępność, zasłonięcie, brak obciążenia itp.)
- termogramy miejsc potencjalnego zagrożenia (np. ekstremalne temperatury, nietypowe rozkłady i wartości pól temperaturowych itp.)
- wydzieloną listę elementów wadliwych wraz z warunkami ich pracy i klasyfikacją.

Dodatkowo sprawozdanie z badania powinno zawierać :

- informację o miejscu badania (miejscowości, obiektu, orientacji względem stron świata);
- czasu badania (data, pora dnia),
- charakterystykę warunków meteorologicznych mogących mieć wpływ na wartość i rozkład temperatury,
- opis rodzaju, typu aparatury i wyposażenia dodatkowego,
- charakterystykę miejsc rejestracji termogramów,
- dane wykonawcy badań,
- dane o warunkach pracy obiektu, obciążeniu (jeśli warunki pracy obiektu nie były stabilne, wówczas przebieg obciążenia w ostatnim czasie).

W niektórych krajach badania termowizyjne mogą być wykonywane wyłącznie przez osoby posiadające odpowiednie certyfikaty wydawane na podstawie standaryzowanych procedur certyfikacyjnych. Tego typu wymagania wynikają z konieczności eliminacji fałszywych alarmów, które mogą być formułowane przez niedoświadczonych diagnostów, a powodujące duże straty związane np. z odstawieniem maszyn lub instalacji. W Polsce obowiązuje norma PN-EN 473:2002 zawierająca wymagania dla personelu wykonującego badania nieniszczące metodą podczerwieni. Ze względu na aktualny brak możliwości certyfikacji w instytucji krajowej, odpowiedni certyfikat można uzyskać w takich krajach wspólnoty europejskiej jak Niemcy, Francja, Szwecja.

#### 11.3.4. Wybór metody pomiarowej

Przy wyborze metody i aparatury pomiarowej w celu rozwiązania określonego zadania w zakresie diagnostyki termicznej, należy się kierować, między innymi, następującymi względami:

- wielkością badanego obiektu,
- utrudnieniami związanymi z dostępem do badanego obiektu,
- zakresem mierzonych temperatur,
- dynamiką procesów termicznych,
- dokładnością pomiaru,
- czułością urządzenia pomiarowego,
- oddziaływaniem środowiska (agresywność chemiczna, zapylenie, para wodna, zawartość gazów w atmosferze, drgania itp.),
- kwalifikacjami obsługi,
- analizą ekonomiczną.

W niektórych przypadkach metoda pomiaru temperatury zdeterminowana jest przez zewnętrzne i wewnętrzne przepisy lub procedury diagnostyczne dla pojedynczych obiektów lub ich klas. Przykładem może być zarządzenie ministrów górnictwa i energetyki oraz gospodarki materiałowej i paliwowej w sprawie szczegółowych zasad eksploatacji turbin parowych [11.10], w którym zarządza się, aby turbiny nowe lub przebudowane, przyjmowane do eksploatacji, były wyposażone w urządzenia umożliwiające nieprzerwaną kontrolę m.in. temperatury stopu łożyskowego i oleju smarującego przy wylocie z łożysk, a niezależnie od tego turbiny nowe lub przebudowane o mocy większej od 25 MW

powinny być wyposażone w układy pomiarowe z automatyczną rejestracją temperatur metalu i pary, umożliwiające nieprzerwaną kontrolę pośrednich naprężeń termicznych w wybranych elementach. Tego typu zalecenia poniekąd determinują kontaktową metodę pomiaru temperatury. W przypadku pomiarów bezkontaktowych, praktyka pokazuje, że w większości przypadków stosowane są one cyklicznie i realizowane są w postaci np. inspekcji termowizyjnych wykonywanych przez przeszkolony personel według metodyki bazującej na doświadczeniu i intuicji osoby dokonującej inspekcji. Pomiar bezkontaktowy stosowane są w ciągłym monitorowaniu, głównie procesów, aczkolwiek stosowane są rzadko, ze względu na cenę urządzeń i ich czułość na zmianę warunków zewnętrznych.

## 11.4. Diagnostyka termiczna

Diagnozowanie na podstawie temperatury jest zagadnieniem obszernym obejmującym różne dziedziny diagnostyki technicznej. W zależności od rozpatrywanych zagadnień, metod pomiaru i klas diagnozowanych obiektów diagnostyka oparta na temperaturze przyjmuje różne nazwy. W publikacjach stosowana jest taka terminologia jak: diagnostyka temperaturowa, diagnostyka termalna, diagnostyka termiczna, diagnostyka termograficzna, diagnostyka termowizyjna. Należy zaznaczyć, że z punktu widzenia zasobów słownikowych i encyklopedycznych, prawidłową nazwą dla diagnostyki bazującej na temperaturze jest diagnostyka termiczna. Pojęcie termalny (termalna) dotyczy term, cieplic, starożytnych łaźni i odnosi się do pojęcia ciepły. Bez względu na różnice terminologiczne, cel diagnostyki bazującej na temperaturze jest ten sam - na podstawie symptomów temperaturowych zidentyfikować i ocenić stan techniczny obserwowanego obiektu. Opis stanu technicznego obiektu na podstawie temperatury może być realizowany dwiema metodami [11.1]:

- pasywną - wykorzystującą ciepło własne badanego obiektu, generowane podczas jego eksploatacji.
- aktywną - bazującą na obserwacji reakcji obiektu na zewnętrzne, sterowane pobudzenie cieplne.

### 11.4.1. Pasywna diagnostyka termiczna

W maszynach i urządzeniach podczas ich działania powstaje energia cieplna związana z istnieniem zjawisk fizycznych zachodzących we wnętrzu obiektu oraz w materiałach, z których został wykonany. Stan cieplny maszyny, jest charakteryzowany przez jeden z istotnych parametrów roboczych maszyny jakim jest temperatura. Dzięki wykorzystaniu temperatury do obserwacji naturalnych procesów cieplnych obiektów, możliwa jest w sposób pasywny identyfikacja stanu technicznego maszyn i urządzeń. Podstawowym i najczęściej uwzględnianym temperaturowym symptomem diagnostycznym jest wzrost temperatury w wybranym punkcie obiektu. Uwzględniając ogromną różnorodność obiektów, dla których stosowana jest diagnostyka termiczna oraz wiele metod pomiaru temperatury możliwe jest zdefiniowanie ogromnej liczby zróżnicowanych symptomów temperaturowych. Przykładem diagnostycznych symptomów temperaturowych definiowanych dla np. turbozespołów energetycznych mogą być [11.3]:

- temperatura pary świeżej i wtórnej oraz pary w stopniu regulacyjnym,
- temperatura oleju smarowego, lewarowego i w układzie regulacji,
- temperatura metalu łożyska poprzecznego i wzdłużnego,
- temperatura metalu w wybranych punktach kadłubów i zaworów WP i SP,
- temperatura metalu zaworu odcinającego WP i SP,
- temperatura kadłuba wewnętrznego WP i SP,
- różnice temperatur para-metal,
- różnice temperatur między poszczególnymi punktami kadłubów,
- temperatura uzwojeń stojana generatora.

Na podstawie symptomów temperaturowych możliwa jest identyfikacja, różnych niesprawności mogących się pojawić w maszynie. Przykładem może być obserwacja temperatury metalu łożysk turbosespołu oraz oleju na wylocie łożysk. Symptomy te pozwalają na wykrycie nieprawidłowości w rozkładzie obciążeń łożysk, mogą zatem być pomocne w diagnozowaniu rozosiowań. Jest to istotne w przypadkach, kiedy analiza drganiowych symptomów rozosiowań nie daje jednoznacznych wyników.

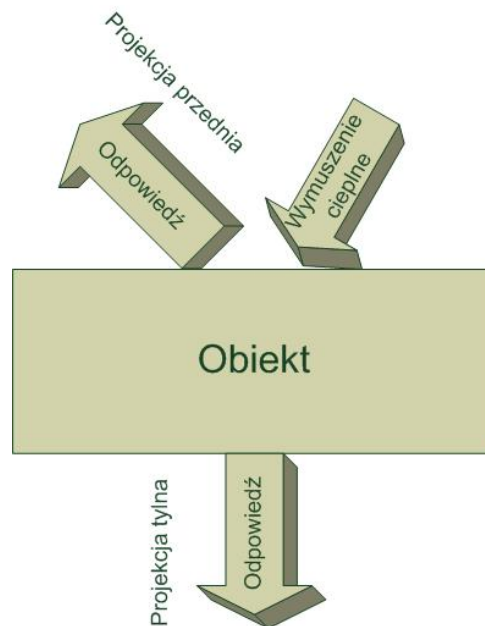
Wiele z pośród symptomów temperaturowych np. temperatura metalu łożyska i oleju na wylocie odpowiada parametrom mierzonym i monitorowanym w sposób ciągły przez systemy diagnostyczne. Niektóre z nich jak np. temperatury w metalu kadłubów wysoko- i średnioprężnego i różnice temperatur w elementach turbosespołu oraz gradienty tych wielkości pozwalają określać stany naprężeń turbiny i stanowią wielkości wejściowe dla układów zabezpieczeń i sterowania turbosespołów. Obserwacja tych parametrów i utrzymywanie ich wartości w granicach odpowiadających optymalnemu punktowi pracy określonego przez producenta jest istotna dla prawidłowego prowadzenia rozruchu turbosespołu oraz jego prawidłowej eksploatacji. Z punktu widzenia diagnozowania symptomy takie można traktować na ogół jako dwustanowe. Przekroczenie ich wartości wiąże się z obniżeniem żywotności elementów turbosespołu, a także ze wzrostem prawdopodobieństwa wystąpienia niesprawności, dlatego zwykle nagły wzrost wartości symptomu jest jednoznaczny z wyłączeniem obiektu z eksploatacji. Przykładem pokazującym celowość ciągłej obserwacji symptomów temperaturowych może być wykrycie przedostania się wody do turbiny. Niesprawność tą można wykryć poprzez obserwację i analizę przebiegów czasowych takiego symptomu temperaturowego jak różnica temperatur między górną a dolną połową kadłuba turbiny. Dolna połowa kadłuba jest w takich przypadkach intensywnie schładzana [11.3].

Diagnozowanie z zastosowaniem pomiarów bezkontaktowych, w większości przypadków jest realizowane w oparciu o jednorazowe lub cyklicznie prowadzone inspekcje obiektów. Stosowane są tutaj głównie urządzenia termowizyjne. Monitorowanie i ciągła diagnostyka termowizyjna realizowana jest przeważnie w przypadku procesów przemysłowych, gdzie bezkontaktowe urządzenia pomiaru temperatury montowane są na stanowiskach produkcyjnych lub kontroli jakości. Ocena stanu w głównej mierze polega na analizie rozkładów temperatury na powierzchni badanego obiektu i porównywaniu obrazów termowizyjnych zarejestrowanych w różnych chwilach eksploatacji obiektu.

#### 11.4.2. Aktywna diagnostyka termiczna

Aktywna diagnostyka termiczna polega na wstępnym nagrzewaniu obiektu i następującym po nim pomiarze rozkładu temperatury na jego powierzchni. Wartości temperatury w określonych punktach obiektu charakteryzują warunki odprowadzania ciepła, co pozwala wnioskować o składzie fizykochemicznym, grubości, strukturze, istnieniu defektów itp. Przy aktywnych metodach obiekt nagrzewany jest w całości bądź, gdy nie jest to możliwe, strefowo. W aktywnej diagnostyce termicznej najczęściej stosowane są badania z zastosowaniem kamer termowizyjnych, które dzięki możliwościom jednoczesnej obserwacji rozkładu temperatury na całej powierzchni obserwowanego obszaru pozwalają na uzyskanie odpowiedzi całego obserwowanego obszaru obiektu na zewnętrzne pobudzenie (grzanie lub chłodzenie). Tego typu badania nazywane są również aktywną termografią dynamiczną. Odpowiedzią obiektu na wymuszenie cieplne może być wzrost lub spadek temperatury, natomiast szybkość zmian temperatury niesie informację o wartościach pojemności i przewodności cieplnej obiektu - wielkościach charakteryzujących jego strukturę wewnętrzną. W badaniach aktywnych oprócz kamery termowizyjnej wykorzystuje się zewnętrzne źródło energii cieplnej, którym może być: lampa błyskowa, promiennik podczerwieni, wiązka promieni lasera, strumień ciepły powietrza lub wody itp. Głównym zadaniem zewnętrznego źródła ciepła jest dostarczenie do badanego obiektu energii cieplnej o znanych parametrach, wśród których najważniejsze są: moc/energia, czas trwania oraz charakter źródła (np. impulsowy, sinusoidalny itp.). Metody pomiarowe stosowane w aktywnej termografii dynamicznej zostały podzielone ze względu na sposób prowadzenia badań na: projekcję przednią i projekcję tylną (rys. 11.8). Obie metody polegają na zewnętrznym cieplnym pobudzeniu badanego obiektu przy czym, różnicą jest miejsce pomiaru odpowiedzi obiektu na wymuszenie cieplne. W przypadku,

projekcji przedniej, rejestrowane są termogramy powierzchni podlegającej bezpośrednio pobudzeniu, natomiast projekcja tylna polega na obserwacji powierzchni przeciwnej do pobudzanej dzięki czemu otrzymujemy odpowiedź obiektu po przejściu przez niego fali cieplnej.



Rys. 11.8: Metody termografii aktywnej

Głównym parametrem w termografii dynamicznej jest rodzaj funkcji pobudzającej. Jako wymuszenie możemy zastosować: fale ultradźwiękowe, promieniowanie podczerwone lub mikrofałe. Ma ono najczęściej charakter impulsowy lub ciągłej fali harmonicznej. Ze względu na rodzaj pobudzenia termicznego metody termografii aktywnej można podzielić na:

- impulsowe,
- impulsowo-fazowe,
- synchroniczne.

### Termografia impulsowa (PT)

Termografia impulsowa jest aktywną techniką badań nieniszczących, w której powierzchnia badanego obiektu (próbki) poddawana jest impulsowemu pobudzeniu cieplnemu o zadanym czasie trwania impulsu. Wymuszenie może stanowić również seria impulsów. W termografii impulsowej wykorzystuje się analizę stałych czasowych wybranych elementów struktury. Głównym celem badania jest wykrycie w badanej próbce różnego rodzaju defektów, tj.: wtrącenia, pęknięcia, ubytki materiału, jamy itp. Defekt lokalizowany jest dzięki istnieniu różnych wartości stałych czasowych nagrzewania (chłodzenia) dla materiału rodzimego i defektu [11.6].

W termografii impulsowej wyróżnione zostały również dwa sposoby prowadzenia badań [11.6] [11.7]:

- Termiczne impulsowe pobudzenie obiektu z rejestracją termogramów w fazie chłodzenia,
- Termiczne impulsowe pobudzenie obiektu z rejestracją termogramów w fazie nagrzewania i chłodzenia.

W drugim sposobie badań podstawowym problemem jest nakładanie się fal promieniowania odbitego i generowanego przez obiekt, co powoduje kłopoty z późniejszą analizą obrazów i może być

przyczyną błędnych wniosków. Wobec czego częściej wykorzystywana jest rejestracja termogramów w fazie chłodzenia.

Termografia impulsowa, której wynikiem jest seria obrazów przedstawiająca zmiany rozkładu pola temperatur na powierzchni badanej, pozwala jedynie na jakościową analizę otrzymanych termogramów. Nie możliwe jest odczytanie z otrzymanych obrazów informacji ilościowych, tj. głębokość umiejscowienia wykrytego defektu. Na potrzeby analizy zostały zdefiniowane między innymi trzy współczynniki wyznaczone na podstawie otrzymanych obrazów [11.7]:

- Współczynnik kontrastu cieplnego (WKC)
- Znormalizowany Różnicowy Współczynnik Termografii Impulsowej (ZRWTI)
- Odwrotny Znormalizowany Różnicowy Współczynnik Termografii Impulsowej (OZRWTI)

### **Termografia impulsowa fazowa (PPT)**

Metoda ta jest w dużym stopniu oparta na termografii impulsowej. Stosuje się identyczne warunki przeprowadzenia pomiarów. Różnica występuje podczas obróbki otrzymanych termogramów. W celu otrzymania obrazów parametrycznych korzysta się z przekształcenia Fouriera. Wynikiem są dwa obrazy parametryczne: amplitudogramy (podobnie jak w PT) i fazogramy (obrazy fazowe) [11.4, 11.5]. Termografia impulsowa fazowa wykazuje pewne zalety w stosunku do termografii impulsowej, np. na jakość uzyskiwanych obrazów fazowych mniejszy wpływ ma nierównomierność nagrzania badanej powierzchni. Jeżeli chodzi o fazogramy, próby pozyskania z nich dokładnych informacji nie dają jeszcze zadowalających rezultatów [11.6]. Wynika to z właściwości przekształcenia Fouriera, które tłumnie całkowicie informację czasową. Niedogodność tą można ominąć stosując przekształcenie falkowe. Przekształcenie to zastosowane w PPT zachowuje informację czasową i dlatego pozwala w miarę dokładnie określić głębokość defektu pod powierzchnią. Jedyną niedogodnością wynikającą z stosowania przekształcenia falkowego jest konieczność doboru falki pierwotnej. W literaturze [11.6] wykazano, iż spośród wielu falek najlepszą jest falka Morleta.

### **Termografia synchroniczna (Lock-in thermography)**

Termografia synchroniczna polega na pobudzeniu obiektu harmonicznym wymuszeniem cieplnym o odpowiedniej częstotliwości. Idea analizy polega na tym, że dla defektu wartość współczynnika przewodzenia ciepła jest inna niż dla badanego materiału bez defektów. Analiza amplitudy i kąta przesunięcia fazowego odpowiedzi względem wymuszenia cieplnego pozwala określić miejsce i rodzaj anomalii występującej w badanym obiekcie [11.5, 11.6, 11.7].

Dla otrzymanych termogramów przy użyciu termografii synchronicznej zostało opracowanych kilka algorytmów obliczeniowych pozwalających na wyznaczenie z termogramów obrazów parametrycznych. Podobnie jak w przypadku PTT metoda pozwala na wygenerowanie amplitudogramów i fazogramów. Poniżej została przedstawiona grupa najczęściej spotykanych algorytmów (metod) wyznaczania obrazów parametrycznych (amplitudogramów i fazogramów):

1. Metoda klasyczna - polega na wymnożeniu zarejestrowanego sygnału odpowiedzi obiektu z sygnałem wymuszającym i sygnałem odpowiedzi przesuniętym o  $90^\circ$  względem wymuszenia [11.7]. Wykonując odpowiednie przekształcenia na pikselach obrazów otrzymamy amplitudogramy i fazogramy.
2. Metoda czterech obrazów - metoda polega na rejestracji czterech równo oddalonych od siebie w czasie obrazów odpowiedzi badanego obiektu. Na przykład dla sygnału wymuszającego o przebiegu sinusoidalnym powinny one być oddalone od siebie o czas równy zmianie fazy wymuszenia o  $90^\circ$ . Czas pobrania wszystkich obrazów odpowiada jednemu pełnemu okresowi wymuszenia termicznego. Wykorzystując równania przedstawione w [11.7] otrzymujemy amplitudogram i fazogram.

3. Metoda wariacyjna - opiera się na założeniach analizy statystycznej. Polega na dwukrotnym rejestrowaniu obrazów: w pierwszym kroku dla obiektu nie poddawanego stymulacji termicznej a w drugim kroku pobudzonym sinusoidalnie. Realizując przekształcenie przedstawione w [11.7] otrzymujemy obraz wynikowy. Metoda poza amplitudogramem nie pozwala pozyskać żadnych informacji na temat czasowych i częstotliwościowych zależności między przebiegami temperatur.
4. Metoda średniokwadratowa - wykorzystuje ona proces minimalizacji błędu średniokwadratowego pomiędzy sygnałem zmierzonym a teoretycznym. Sposób wyznaczenia obrazów parametrycznych na podstawie termogramów została szczegółowo omówiona w [11.7].
5. Metoda pobudzeniem falą ultradźwiękową - wykorzystuje do badań struktury obiektu drgania w zakresie ultradźwięków o zakresie częstotliwości 0-25[KHz]. Pobudzenie obiektu wibracjami powoduje w miejscach istnienia wad tarcia i zamiany energii mechanicznej na energię ciepłą co pozwala zidentyfikować uszkodzenie w bardzo precyzyjny sposób [11.5].

### 11.4.3. Metodyka diagnostyki termicznej

Dla potrzeb diagnostyki bazującej na temperaturze można sformułować ogólną metodykę badawczą obejmującą grupę zadań, jakie muszą być zrealizowane aby możliwe było skuteczne ocenianie bieżącego stanu technicznego obserwowanego obiektu. Są to:

1. Pobudzenie cieplne obiektu - zadanie to jest szczególnie istotne w przypadku termicznej diagnostyki aktywnej. W przypadku termicznej diagnostyki pasywnej jest to jednoznaczne z uruchomieniem obiektu lub pozyskaniem informacji o możliwości wystąpienia zaburzeń równowagi cieplnej wywołanej np. zmianami w sterowaniu maszyny.
2. Pomiar temperatury - zadanie to może dotyczyć:
  - (a) określonego punktu obiektu,
  - (b) określonego zbioru punktów tworzących prostą lub krzywą, w celu wyznaczenia profilu temperaturowego,
  - (c) określonego obszaru obiektu w celu wyznaczenia pola temperaturowego,
  - (d) całej powierzchni obiektu.
3. Określenie relacji diagnostycznych między wartościami symptomów a stanami technicznym - zadanie to stanowi jeden z najważniejszych, ale i najtrudniejszych etapów diagnostyki termicznej.
4. Sformułowanie diagnozy poprzez np. porównanie wyników pomiarów z pomiarami wzorcowymi, lub wynikami pozyskanymi na podstawie symulacji modeli numerycznych pozwalających na analizę procesów cieplnych zachodzących w danym obiekcie

Należy zaznaczyć, że nie ma sformalizowanej metodyki diagnozowania w oparciu o symptomy temperaturowe. Procedury diagnostyczne w przypadku ciągłych pomiarów temperatury w sposób stykowy np. łożysk ślizgowych opierają się na obserwacji wartości symptomu w czasie i kontroli przekroczenia wartości granicznych podawanych przez producenta albo wyznaczonych doświadczalnie. Diagnostyka bazująca na bezstykowych pomiarach temperatury, głównie diagnostyka termowizyjna bazuje na zaleceniach formułowanych na podstawie wieloletnich doświadczeń zespołów badawczych. Określono m.in. kryteria [11.9], które wykrywane w trakcie badań stany awaryjne dzielą na 3 kategorie: Pierwsza kategoria (kat. C) to te stany, w których przyrost temperatury (mierzony względem średniej temperatury badanego pola) jest mniejszy od  $5^{\circ}\text{C}$ ; zaleca się naprawę podczas najbliższego przeglądu. Drugi stan (kat. B) dotyczy przedziału temperatur od  $5^{\circ}\text{C}$  do  $35^{\circ}\text{C}$ ; zaleca się szybką naprawę z uwzględnieniem możliwości dokonania stosownych wyłączeń. W przypadku przyrostów temperatury większych niż  $35^{\circ}\text{C}$  (kat. A) zalecana jest niezwłoczna naprawa [11.9]. Przyjmowane

są również przedziały do  $10^{\circ}\text{C}$ ,  $10 - 30^{\circ}\text{C}$  i powyżej  $30^{\circ}\text{C}$ . Zakłada się, że badania muszą być prowadzone przy obciążeniu większym od 30% obciążenia znamionowego [11.9].

Szczegółowym przykładem metodologii diagnostyki termowizyjnej może być opracowana w *ZBE Energopomiar* metoda oceny i klasyfikacji wad połączeń prądowych rozdzielnic energetycznych [11.12][11.4]. Bazuje ona na obserwacji przyrostu temperatury zacisku ponad temperaturę przyłączonych przewodów z uwzględnieniem warunków pomiarowych takich jak temperatura otoczenia, prędkość wiatru, czy wartość obciążenia. Zakłada się, że prędkość wiatru nie może przekraczać  $4\text{m/s}$ , a prąd obciążenia nie powinien być mniejszy od 30% prądu znamionowego dla danego pola rozdzielnic lub linii przesyłowej. Szczegółowe kryteria zestawiono w tabeli 11.1

Tab. 11.1: Kryteria oceny stanu zacisków prądowych [11.4]

Parametry	Zmierzony przyrost temperatury [ $^{\circ}\text{C}$ ]			
	Prędkość wiatru $< 2[\text{m/s}]$	3 – 10	11 – 30	31 – 50
Prędkość wiatru $> 2[\text{m/s}]$	3 – 10	11 – 20	21 – 35	$> 35$
	Ocena stanu zacisku			
Prąd obciążenia $30 - 60\%I_n$	dostateczny	zły	bardzo zły	bardzo zły
Prąd obciążenia $> 60\%I_n$	dostateczny	zły	zły	bardzo zły

## 11.5. Zastosowanie diagnostyki termicznej

Diagnostyka termiczna znajduje zastosowanie do oceny stanu każdego obiektu lub procesu, w których można posłużyć się temperaturą jako wskaźnikiem prawidłowości przebiegu zjawiska lub sygnałem o zagrożeniu lub uszkodzeniu. Zastosowanie termodiagnostyki jest bardzo szerokie i przedstawienie oraz dokładne omówienie wszystkich aplikacji jest niemożliwe. W licznych pozycjach literaturowych przytaczane są przykłady stosowania pomiarów temperatury do diagnostyki różnych maszyn, urządzeń i instalacji przemysłowych [11.4, 11.6, 11.8, 11.2, 11.1]. Poniżej przedstawiono wybrane dziedziny zastosowania, diagnostyki termicznej w przemyśle elektroenergetycznym, który ze względu na swoje strategiczne znaczenie, znajduje najszerszy obszar stosowania diagnostyki bazującej na pomiarach temperatury. W oparciu o symptomy temperaturowe diagnozowane są praktycznie wszystkie ogniwa systemu wytwarzania i dystrybucji energii elektrycznej począwszy od elektrowni, poprzez linie przesyłowe, stacje energetyczne, linie średniego napięcia stacje lokalne, aż po końcowego odbiorcę. Dla potrzeb diagnostyki termicznej stosowane są zarówno metody pasywne i aktywne, stosujące aparaturę do kontaktowego jaki i bezkontaktowego pomiaru temperatury. Kontaktowe metody pomiaru temperatury stosowane są najczęściej w urządzeniach bloku energetycznego, gdzie prowadzony jest ciągły monitoring temperaturowych parametrów eksploatacyjnych i procesowych. Czujniki temperatury umiejscawiane są w łożyskach i korpusach turbozespołu, w dolotach i wylotach instalacji parowych i olejowych itp. Tory pomiaru temperatury podłączane są do systemów nadzoru SCADA i dzięki temu możliwe jest gromadzenie przebiegów temperatury w czasie, przydatnych w ocenie stanu technicznego [11.3]. Coraz większe znaczenie dla systemów diagnozujących mają pomiary realizowane w sposób bezkontaktowy z zastosowaniem kamer termowizyjnych. Termowizja wykorzystywana jest do badań urządzeń i instalacji energetycznych i elektroenergetycznych takich jak osłony kotłów, rurociągi wodne i parowe, węzły cieplne, generatory, transformatory, zespoły prądotwórcze, ponadto badane są wybrane urządzenia mechaniczne oraz składowiska węgla, składowiska z paliwami płynnymi. W procesie diagnozowania stanu urządzeń stacji rozdzielczych i linii energetycznych termowizja pozwala wykrywać wadliwe zestyki i styki (wyłączników, odłączników, rozłączników, połączeń śrubowych i prasowych), a także upływności występujących na elementach izolacyjnych. Z zastosowaniem kamer termowizyjnych monitorowane są transformatory oraz przekładniki [11.9]. Metody termowizji

dynamicznej stosowane są do diagnostyki remontowej, a w szczególności do oceny jakości prac remontowych prowadzonych głównie w obrębie bloków energetycznych. W trakcie odstawienia maszyn i urządzeń lub w trakcie rozruchów możliwe jest ich kontrolowane nagrzewanie, co pozwala na detekcję miejsc w których zachodzi nierównomierne nagrzewanie zwykle świadczące o istnieniu niesprawności. Przykładem mogą być badania drożności rur ścian ekranowych kotłów energetycznych [11.12]. Termowizję dynamiczną stosuje się również do poprodukcyjnej oceny stanu rdzenia transformatora w celu wykrycia i zlokalizowania ewentualnych zwarć poszczególnych blach pakietów rdzenia.

## 11.6. Przykład zapisu wiedzy dotyczącej diagnostyki termicznej maszyn i urządzeń

Pozyskiwanie i zapis wiedzy diagnostycznej nie jest zadaniem łatwym i jest procesem długotrwałym wymagającym udziału wielu specjalistów. Powyższe stwierdzenie dotyczy każdej dziedziny w tym diagnostyki termicznej maszyn i urządzeń bloków energetycznych. Istnieją metody pozwalające na skuteczne pozyskiwanie i zapisywanie wiedzy diagnostycznej w sposób sformalizowany, a następnie wykorzystywanie jej przy tworzeniu reguł postępowania. Przykładem narzędzia pozwalającego pozyskiwać i zapisywać wiedzę diagnostyczną jest opracowany w Katedrze Podstaw Konstrukcji Maszyn, system DiaDyn. System poza, możliwością zapisywania wiedzy w postaci haseł i treści, podobnych w formie do wiedzy zgromadzonej w encyklopediach pozwala na tworzenie sieci stwierdzeń, na podstawie której możliwe jest rozwiązywanie różnorodnych zadań. Przykładem zastosowania sieci stwierdzeń, może być wspomaganie projektowania układów diagnozujących i tworzenia procedur diagnostycznych służących do termicznego diagnozowania obiektów technicznych instalowanych w nowoczesnych blokach energetycznych. Budowa sieci stwierdzeń za pomocą systemu DiaDyn związana jest z realizacją kilku podstawowych kroków:

- Sformułowanie i analiza problemu rozwiązywanego za pomocą sieci stwierdzeń,
- Formułowanie stwierdzeń,
- Zapis stwierdzeń i budowa słownika stwierdzeń,
- Tworzenie systemu objaśniającego za pomocą haseł,
- Konstruowanie i definiowanie sieci stwierdzeń,

Przykład Bazy wiedzy dotyczącej wspomaganie projektowania układów diagnozujących i procedur diagnostycznych w zakresie diagnostyki termicznej dostępna jest w systemie DiaDyn w projekcie o nazwie Projekt PBZ-KBN-105/T10/2003 w grupie tematycznej T 7.3.4 pt. *Specyfikacja układów diagnozujących i procedur diagnostycznych przeznaczonych do diagnozowania bloków energetycznych nowej generacji.*

Problemem, rozważanym w niniejszej części opracowania jest wspomaganie i sterowanie wyborem elementów układu diagnozującego oraz metodyką badawczą w tym sposobem analizy pozyskanych danych w zakresie diagnostyki termicznej. Należy zaznaczyć, że przedstawiony sposób rozwiązania omawianego problemu nie jest jedynym z możliwych i zależy od zakresu i jakości wiedzy zapisanej w bazie wiedzy. Dzięki dużej elastyczności systemu DiaDyn baza wiedzy oraz proponowana struktura sieci stwierdzeń mogą być uzupełniane i modyfikowane przez ekspertów z różnych dziedzin, co stanowi jedną z jego wielu zalet. Rozwiązanie problemu wymaga jego analizy w celu zgromadzenia wiedzy niezbędnej do sformułowania stwierdzeń. W przypadku omawianego problemu należy rozpatrywać wiedzę odnoszącą się do:

- elementów wchodzących w skład termicznych układów diagnozujących, takie jak aparatura, przyrządy, oprogramowanie itp. oraz ich parametrów technicznych i użytkowych. Wiedza ta powinna również odnosić się do cech układów diagnozujących,
- metodyki badawczej stosowanej w diagnostyce termicznej,



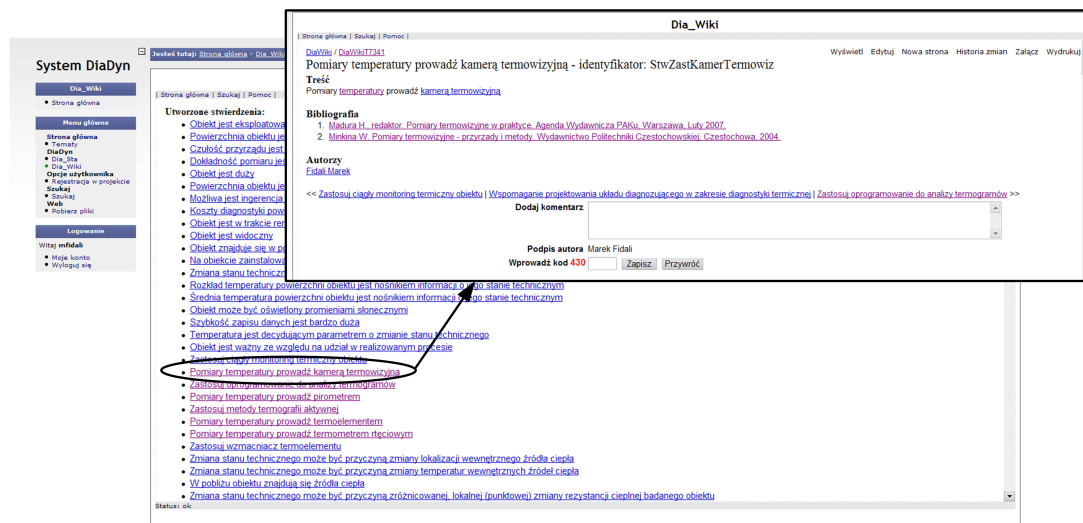
- badanych obiektów, a uwzględniającą specyficzne cechy obiektu i jego stanu mające wpływ na dobór metody badawczej oraz niezbędnej aparatury. Mogą to być m.in. cechy konstrukcyjne, geometryczne, materiałowe.
- uwarunkowań mających wpływ na zasadność diagnozowania, np. sposób eksploatacji, koszty itp.
- otoczenia obiektu i jego wpływu na dobór elementów składowych układu diagnozującego i jakość pozyskiwanych danych diagnostycznych,
- wiedzy i doświadczenia personelu ludzkiego eksploatującego i diagnozującego obiekt.

Uwzględniając powyższe uwagi sformułowano następujące stwierdzenia, które mogą stanowić podstawę do budowy sieci stwierżeń:

- Obiekt jest eksploatowany w sposób ciągły
- Powierzchnia obiektu jest ciemna
- Wymagana jest duża czułość pomiarowa
- Dokładność pomiaru jest duża
- Obiekt jest duży
- Wartość emisyjności powierzchni obiektu jest niska
- Kontaktowy pomiar temperatury na obiekcie jest utrudniony
- Powierzchnia obiektu jest matowa
- Maksymalna temperatura powierzchni obiektu jest nośnikiem informacji o jego stanie technicznym
- Możliwa jest ingerencja w strukturę obiektu w celu montażu czujników
- Koszty diagnostyki powinny być niskie
- Obiekt jest w trakcie remontu
- Obiekt jest widoczny dla układu optycznego urządzeń bezkontaktowego pomiaru temperatury
- Obiekt znajduje się w pomieszczeniu zamkniętym
- Ocenę stanu technicznego można przeprowadzić na podstawie obserwacji termowizyjnej
- Na obiekcie zainstalowano osłony
- Ocenę stanu technicznego można przeprowadzić na podstawie punktowych pomiarów temperatury
- Zmiana stanu technicznego może być przyczyną równomiernej zmiany średniej rezystancji cieplnej badanego obiektu
- Rozkład temperatury powierzchni obiektu jest nośnikiem informacji o jego stanie technicznym
- Średnia temperatura powierzchni obiektu jest nośnikiem informacji o jego stanie technicznym
- Na obiekt pada promieniowanie słoneczne
- Wymagana jest duża szybkość rejestracji termogramów
- Temperatura jest decydującym parametrem o zmianie stanu technicznego
- Obiekt jest ważny ze względu na udział w realizowanym procesie
- Zastosuj ciągły monitoring termiczny obiektu
- Pomiary temperatury prowadź kamerą termowizyjną
- Zastosuj oprogramowanie do analizy termogramów
- Pomiary temperatury prowadź pirometrem
- Ocenę stanu technicznego można przeprowadzić stosując metody termografii aktywnej

- Pomiar temperatury prowadź termoelementem
- Pomiar temperatury prowadź termometrem stykowym
- Pomiar temperatury prowadź termometrem rtęciowym
- Zastosuj wzmacniacz termoelementu
- Zmiana stanu technicznego może być przyczyną zmiany lokalizacji wewnętrznego źródła ciepła
- Zmiana stanu technicznego może być przyczyną zmiany temperatur wewnętrznych źródeł ciepła
- Na obiekt pada promieniowanie ciepłe z innych zewnętrznych źródeł
- Zmiana stanu technicznego może być przyczyną zróżnicowanej, lokalnej (punktowej) zmiany rezystancji cieplnej badanego obiektu

Redagowanie stwierdzeń prowadzone jest w module DiaWiki systemu DiaDyn i polega na wprowadzeniu identyfikatora stwierdzenia, jego tytułu, treści i jeśli to konieczne niezbędnego opisu. Możliwe jest również wskazanie literatury powiązanej ze stwierdzeniem i wprowadzenie autorów stwierdzenia. Szczegółowy opis procedury redagowania stwierdzeń zawarto w rozdziale 4. Na rysunku 11.9 przedstawione przykładowe okno wybranego stwierdzenia.



Rys. 11.9: Przykład zredagowanego stwierdzenia w systemie DiaDyn

System DiaDyn umożliwia grupowanie stwierdzeń w słowniki stwierdzeń, co jest bardzo istotne z punktu widzenia projektowania i budowy sieci stwierdzeń. Wszystkie zaproponowane stwierdzenia połączono w słownik Wspomaganie projektowania układu diagnostującego w zakresie diagnostyki termicznej.

Dla potrzeb wyjaśnienia znaczenia określeń zawartych w zaproponowanych stwierdzeniach, zgodnie z zaleceniami zawartymi w rozdziale 4, przygotowano przykładowy zestaw następujących haseł:

- Ciepło
- Czułość
- Detektor podczerwieni
- Diagnostyka termiczna
- Dokładność
- Emisyjność
- Kamera termowizyjna

- Kondukcja
- Konwekcja
- Monitoring
- Pirometr
- Podczerwień
- Prawo Plancka
- Prawo Stefana-Boltzmann
- Prawo przesunięć Wiena
- Promieniowanie
- Rezystancja Ciepłna
- Temperatura
- Termoelement
- Termografia aktywna
- Termografia impulsowo-fazowa
- Termografia impulsowa
- Termografia synchroniczna
- Termometr
- Termometr rtęciowy
- Termopara
- Termorezystor
- Układ detekcji
- Układ optyczny

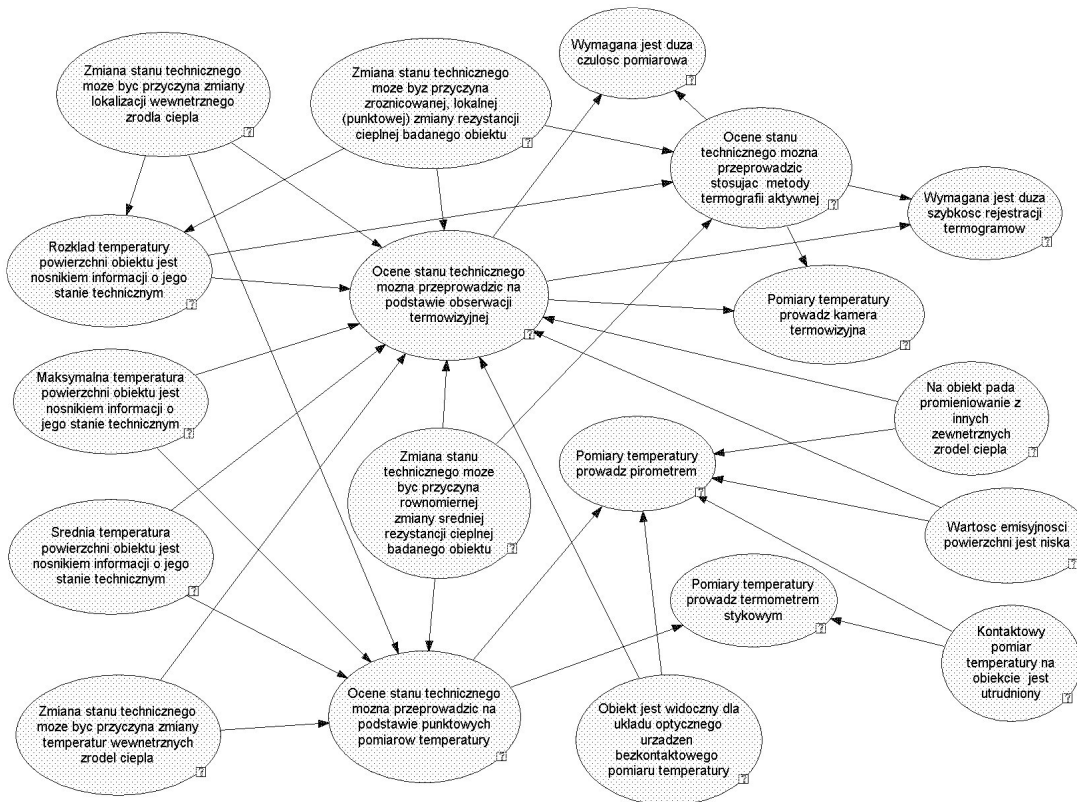
Wybrane hasła stosowane są w objaśnieniach treści innych haseł. Hasła pogrupowano w tematy, których treść przedstawiono poniżej:

- Bezstykowe metody pomiaru temperatury
- Stykowe metody pomiaru temperatury
- Metody termografii aktywnej
- Podstawy przepływu ciepła
- Teoretyczne podstawy termografii

Zaproponowany zestaw haseł nie opisuje w pełni dziedziny jaką jest diagnostyka termiczna, jednak dzięki elastyczności systemu DiaDyn zestaw ten w każdej chwili, może zostać uzupełniony o nowe hasła, wprowadzone przez ekspertów współtworzących bazę wiedzy.

Na bazie przygotowanej w module Dia\_Wiki bazy wiedzy, skonstruowano i zdefiniowano sieć stwierdzeń wspomagającą dobór elementów układu diagnozującego w dziedzinie diagnostyki termicznej. Procedurę budowy sieci stwierdzeń rozpoczęto od poinformowania administratora systemu DiaDyn o konieczności aktywacji wcześniej opracowanego słownika stwierdzeń dotyczącego diagnostyki termicznej. Sieć stwierdzeń przygotowano w module Dia\_Sta systemu DiaDyn, zgodnie z instrukcjami zawartymi w rozdziale 5. Przygotowanie sieci stwierdzeń wymagało wcześniejszego określenia, które stwierdzenia zawarte w słowniku stwierdzeń będą stanowiły węzły sieci i jakie będą relacje między tymi stwierdzeniami. Zaproponowano przykładową sieć, której strukturę przedstawiono schematycznie na rysunku 11.10.

Można zauważyć, że zaproponowana struktura uwzględnia tylko wybrane stwierdzenia z pośród wszystkich stwierdzeń dostępnych w słowniku stwierdzeń. Ograniczenie się do wybranych stwierdzeń miało na celu przygotowanie zwięzłego przykładu pokazującego potencjał systemu DiaDyn w



Rys. 11.10: Przykład struktury sieci stwierżeń pozwalającej na wybór elementów układu diagnozującego w zakresie diagnostyki termicznej

stosowaniu wcześniej w nim zapisanej wiedzy odnoszącej się do zagadnień diagnostyki termicznej. Zapropionowana struktura sieci w każdej chwili może zostać rozbudowana i uzupełniona, przez każdego z zarejestrowanych użytkowników systemu DiaDyn. Posługując się narzędziami dostępnymi w module Dia\_Sta skonstruowano i zdefiniowano sieć stwierżeń o nazwie *Projektowanie układu diagnostyki termicznej*. Przygotowanie sieci wiązało się z ustaleniem powiązań między ustalonymi węzłami sieci oraz wprowadzeniu wartości prawdopodobieństw warunkowych w każdym z wybranych węzłów sieci. Jednym z węzłów rozpatrywanej sieci, którego wartość zależy od wielu węzłów nadrzędnych jest węzeł o nazwie *Ocenę stanu technicznego można przeprowadzić na podstawie obserwacji termowizyjnej*. Na rysunku 11.11 przedstawiono okno parametrów ww. węzła ze zdefiniowanymi węzłami nadrzędnymi, a także graficzne przedstawienie powiązań pomiędzy rozpatrywanym węzłem a węzłami nadrzędnymi.

Najistotniejszym dla jakości działania sieci jest definiowanie wartości prawdopodobieństw warunkowych w węzłach sieci. Nadawane wartości odzwierciedlają stopień przekonania o prawdziwości stwierdzenia reprezentowanego przez edytowany węzeł sieci w odniesieniu do stanu węzłów nadrzędnych. Wprowadzane wartości zależą od wiedzy osoby edytującej i obarczone mogą być dużym stopniem subiektywizmu przy pojmowaniu pewnych zależności. Dla każdego z węzłów omawianej sieci dokonano edycji tablicy prawdopodobieństw warunkowych i wprowadzono wartości prawdopodobieństw. Wypełnioną tablicę z wprowadzonymi wartościami dla ww. węzła przedstawiono na rysunku 11.12.

Analizując możliwe stany węzła o nazwie *Ocenę stanu technicznego można przeprowadzić na podstawie obserwacji termowizyjnej* można stwierdzić, że zależą one w głównej mierze od węzła N1 – *Objekt jest widoczny dla układu optycznego urządzeń bezkontaktowego pomiaru temperatury*. Jest to węzeł decydujący czy stosować pomiary termowizyjne. W przypadku tego typu pomiarów obiekt



**Dia\_Sta**

Sieć stwierżeń: **Projektowanie układu diagnostyki termicznej.**  
Węzeł: **Ocenę stanu technicznego można przeprowadzić na podstawie obserwacji termowizyjnej.**

N1 - Obiekt jest widoczny dla układu optycznego urządzeń bezkontaktowego pomiaru temperatury  
N2 - Zmiana stanu technicznego może być przyczyną równomiernej zmiany średniej rezystancji cieplnej badanego obiektu  
N3 - Rozkład temperatury powierzchni obiektu jest nośnikiem informacji o jego stanie technicznym  
N4 - Średnia temperatura powierzchni obiektu jest nośnikiem informacji o jego stanie technicznym  
N5 - Zmiana stanu technicznego może być przyczyną zmiany lokalizacji wewnętrznego źródła ciepła  
N6 - Zmiana stanu technicznego może być przyczyną zmiany temperatur wewnętrznych źródeł ciepła  
N7 - Na obiekt pada promieniowanie ciepłe z innych zewnętrznych źródeł  
N8 - Zmiana stanu technicznego może być przyczyną zróżnicowanej, lokalnej (punktowej) zmiany rezystancji cieplnej badanego obiektu  
N9 - Maksymalna temperatura powierzchni obiektu jest nośnikiem informacji o jego stanie technicznym  
N10 - Wartość emisyjności powierzchni obiektu jest niska

Tak	Nie	N1	N2	N3	N4	N5	N6	N7	N8	N9	N10
0.3	0.7	Tak	Tak	Tak	Tak	Tak	Tak	Tak	Tak	Tak	Tak
0.4	0.6	Tak	Tak	Tak	Tak	Tak	Tak	Tak	Tak	Tak	Nie
0.3	0.7	Tak	Tak	Tak	Tak	Tak	Tak	Tak	Tak	Nie	Tak
0.4	0.6	Tak	Tak	Tak	Tak	Tak	Tak	Tak	Tak	Nie	Nie
0.3	0.7	Tak	Tak	Tak	Tak	Tak	Tak	Tak	Nie	Tak	Tak
0.4	0.6	Tak	Tak	Tak	Tak	Tak	Tak	Tak	Nie	Tak	Nie
0.3	0.7	Tak	Tak	Tak	Tak	Tak	Tak	Tak	Nie	Nie	Tak
0.4	0.6	Tak	Tak	Tak	Tak	Tak	Tak	Tak	Nie	Nie	Nie
0.4	0.6	Tak	Tak	Tak	Tak	Tak	Tak	Nie	Tak	Tak	Tak
0.9	0.1	Tak	Tak	Tak	Tak	Tak	Tak	Nie	Tak	Tak	Nie
0.4	0.6	Tak	Tak	Tak	Tak	Tak	Tak	Nie	Tak	Nie	Tak
0.9	0.1	Tak	Tak	Tak	Tak	Tak	Tak	Nie	Tak	Nie	Nie
0.4	0.6	Tak	Tak	Tak	Tak	Tak	Tak	Nie	Nie	Tak	Tak
0.9	0.1	Tak	Tak	Tak	Tak	Tak	Tak	Nie	Nie	Tak	Nie

Rys. 11.12: Fragment tablicy prawdopodobieństw warunkowych zaproponowanych dla przykładowego węzła sieci stwierżeń

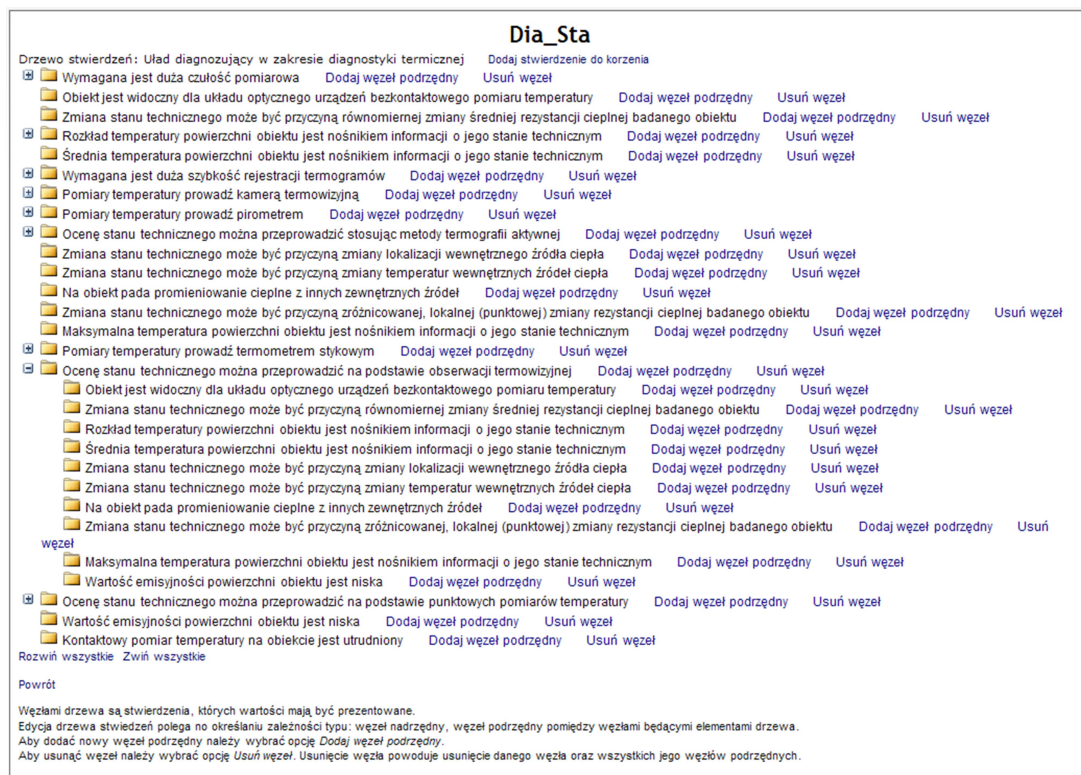
gółowo opisano w rozdziale 7. Uruchomienie zdefiniowanego zadania wymagało wprowadzenie początkowych wartości stwierżeń w wybranych węzłach. Wartości te stanowią stopień przekonania o prawdziwości danego stwierżenia. Nie wszystkie stwierżenia muszą mieć przypisane wartości początkowe. Stwierżenia bez nadanych wartości początkowych są stwierżeniami których wartości zostaną wyznaczone po uruchomieniu procesu zdefiniowanego zadania. Rozpatrywano trzy przypadki obliczeniowe:

1. Gdy nie przypisane są żadne wartości początkowe do węzłów sieci
2. Gdy nadano wartości wybranym węzłom sieci
3. Gdy nadano wartości jednemu z węzłów sieci pełniących rolę węzła wynikowego

Dla przypadku pierwszego sieć wyznaczyła wartości wszystkich węzłów wynikowych (rys. 11.14) i wskazała, że preferowany jest układ diagnozujący bazujący na stykowych pomiarach temperatury. Zachowanie sieci jest w pełni uzasadnione ze względu na istnienie pewnego stopnia niepewności dotyczącego warunków, w których możliwe jest prowadzenie pomiarów bezkontaktowych, np. emisyjność powierzchni, widoczność obiektu itp.

W drugim przypadku wprowadzono wartości stopni przekonania o prawdziwości następujących stwierżeń:

- Obiekt jest widoczny dla układu optycznego urządzeń bezkontaktowego pomiaru temperatury - 0.9



Rys. 11.13: Drzewo stwierdzeń

- Zmiana stanu technicznego może być przyczyną równomiernej zmiany średniej rezystancji cieplnej badanego obiektu - 0.6
- Rozkład temperatury powierzchni obiektu jest nośnikiem informacji o jego stanie technicznym - 0.9
- Średnia temperatura powierzchni obiektu jest nośnikiem informacji o jego stanie technicznym - 0.6
- Zmiana stanu technicznego może być przyczyną zmiany lokalizacji wewnętrznego źródła ciepła - 0.5
- Zmiana stanu technicznego może być przyczyną zmiany temperatur wewnętrznych źródeł ciepła - 0.9
- Na obiekt pada promieniowanie ciepłe z innych zewnętrznych źródeł - 0.3
- Zmiana stanu technicznego może być przyczyną zróżnicowanej, lokalnej (punktowej) zmiany rezystancji cieplnej badanego obiektu - 0.3
- Maksymalna temperatura powierzchni obiektu jest nośnikiem informacji o jego stanie technicznym - 0.6
- Wartość emisyjności powierzchni obiektu jest niska - 0.3

W wyniku wnioskowania przeprowadzonego po uruchomieniu zadania zostały wyznaczone wartości węzłów, których wartości wcześniej nie były znane (rys. 11.15) . Z punktu widzenia rozwiązywa-



## Dia\_Sta

Wyniki dla zadania **Diagnostyka termiczna**

- ▣ Wymagana jest duża czułość pomiarowa: 0.35706747
  - ▣ Obiekt jest widoczny dla układu optycznego urządzeń bezkontaktowego pomiaru temperatury: 0.50000006
  - ▣ Zmiana stanu technicznego może być przyczyną równomiernej zmiany średniej rezystancji cieplnej badanego obiektu: 0.5
- ▣ Rozkład temperatury powierzchni obiektu jest nośnikiem informacji o jego stanie technicznym: 0.7225
  - ▣ Średnia temperatura powierzchni obiektu jest nośnikiem informacji o jego stanie technicznym: 0.5
- ▣ Wymagana jest duża szybkość rejestracji termogramów: 0.31830308
- ▣ Pomiar temperatury prowadź kamerą termowizyjną: 0.55834514
  - ▣ Pomiar temperatury prowadź pirometrem: 0.26347658
- ▣ Ocenę stanu technicznego można przeprowadzić stosując metody termografii aktywnej: 0.31840625
  - ▣ Zmiana stanu technicznego może być przyczyną zmiany lokalizacji wewnętrznego źródła ciepła: 0.5
  - ▣ Zmiana stanu technicznego może być przyczyną zmiany temperatur wewnętrznych źródeł ciepła: 0.5
  - ▣ Na obiekt pada promieniowanie ciepłe z innych zewnętrznych źródeł: 0.5
  - ▣ Zmiana stanu technicznego może być przyczyną zróżnicowanej, lokalnej (punktowej) zmiany rezystancji cieplnej badanego obiektu: 0.5
  - ▣ Maksymalna temperatura powierzchni obiektu jest nośnikiem informacji o jego stanie technicznym: 0.5
- ▣ Pomiar temperatury prowadź termometrem stykowym: 0.60898435
- ▣ Ocenę stanu technicznego można przeprowadzić na podstawie obserwacji termowizyjnej: 0.3759317
- ▣ Ocenę stanu technicznego można przeprowadzić na podstawie punktowych pomiarów temperatury: 0.578125
  - ▣ Wartość emisyjności powierzchni obiektu jest niska: 0.5
  - ▣ Kontaktowy pomiar temperatury na obiekcie jest utrudniony: 0.5

Rys. 11.14: Wyniki wnioskowania z zastosowaniem sieci stwierdzeń dla przypadku, gdy nie są znane początkowe wartości węzłów sieci

nego zadania węzłami których wartości były najbardziej interesujące to węzły wynikowe stwierdzające jakie elementy układu diagnozującego powinny zostać zastosowane dla potrzeb prowadzenia termicznej diagnostyki obiektu. Węzłami tymi były:

- Ocenę stanu technicznego można przeprowadzić stosując metody termografii aktywnej: 0.4776011
- Ocenę stanu technicznego można przeprowadzić na podstawie obserwacji termowizyjnej: 0.5638877
- Ocenę stanu technicznego można przeprowadzić na podstawie punktowych pomiarów temperatury: 0.58216125
- Pomiar temperatury prowadź termometrem stykowym: 0.60758759
- Pomiar temperatury prowadź pirometrem: 0.3060376
- Pomiar temperatury prowadź kamerą termowizyjną: 0.91921085
- Wymagana jest duża szybkość rejestracji termogramów: 0.42744893
- Wymagana jest duża czułość pomiarowa: 0.48559448

Wyniki wskazują, że najkorzystniej jest mierzyć temperaturę kamerą termowizyjną. Wyniki sieci wskazują również, że równorzędnie można by było zastosować klasyczne inspekcje termowizyjne oraz punktowe pomiary temperatury z zastosowaniem termometru stykowego, a zatem możliwa jest ocena stanu technicznego na podstawie tych dwóch rodzajów pomiarów.

W trzecim przypadku przyjęto założenie, że prawdziwe jest stwierdzenie wskazujące na prowadzenie pomiarów temperatury za pomocą kamery termowizyjnej. Pozostałe wartości węzłów pozostały bez zmian. Po uruchomieniu sieć wyznaczyła wartości węzłów w sposób pokazany na rysunku 11.16.

Sieć potwierdziła, że jeśli pomiary są wykonywane kamerą termowizyjną, to możliwa jest ocena stanu technicznego obiektu na podstawie tego typu badań.



## Dia\_Sta

Wyniki dla zadania **Diagnostyka termiczna**

- Wymagana jest duża czułość pomiarowa: 0.3594017
  - Objekt jest widoczny dla układu optycznego urządzeń bezkontaktowego pomiaru temperatury: 0.9
  - Zmiana stanu technicznego może być przyczyną równomiernej zmiany średniej rezystancji cieplnej badanego obiektu: 0.6
- Rozkład temperatury powierzchni obiektu jest nośnikiem informacji o jego stanie technicznym: 0.9396012
  - Średnia temperatura powierzchni obiektu jest nośnikiem informacji o jego stanie technicznym: 0.6
- Wymagana jest duża szybkość rejestracji termogramów: 0.27953312
- Pomiary temperatury prowadź kamerą termowizyjną: 0.74215966
- Pomiary temperatury prowadź pirometrem: 0.47266224
- Ocenę stanu technicznego można przeprowadzić stosując metody termografii aktywnej: 0.30110508
  - Zmiana stanu technicznego może być przyczyną zmiany lokalizacji wewnętrznego źródła ciepła: 0.6473303
  - Zmiana stanu technicznego może być przyczyną zmiany temperatur wewnętrznych źródeł ciepła: 0.9
  - Na obiekt pada promieniowanie ciepłe z innych zewnętrznych źródeł: 0.29999998
  - Zmiana stanu technicznego może być przyczyną zróżnicowanej, lokalnej (punktowej) zmiany rezystancji cieplnej badanego obiektu: 0.4232037
  - Maksymalna temperatura powierzchni obiektu jest nośnikiem informacji o jego stanie technicznym: 0.30000004
- Pomiary temperatury prowadź termometrem stykowym: 0.6052205
- Ocenę stanu technicznego można przeprowadzić na podstawie obserwacji termowizyjnej: 0.70609766
- Ocenę stanu technicznego można przeprowadzić na podstawie punktowych pomiarów temperatury: 0.64375544
- Wartość emisyjności powierzchni obiektu jest niska: 0.30000004
- Kontaktowy pomiar temperatury na obiekcie jest utrudniony: 0.5

Rys. 11.15: Wyniki wnioskowania z zastosowaniem sieci stwierdzeń z nadanymi wartościami początkowymi w wybranych węzłach

## Dia\_Sta

Wyniki dla zadania **Diagnostyka termiczna**

- Wymagana jest duża czułość pomiarowa: 0.48559448
  - Objekt jest widoczny dla układu optycznego urządzeń bezkontaktowego pomiaru temperatury: 0.6090903
  - Zmiana stanu technicznego może być przyczyną równomiernej zmiany średniej rezystancji cieplnej badanego obiektu: 0.5355383
- Rozkład temperatury powierzchni obiektu jest nośnikiem informacji o jego stanie technicznym: 0.7751155
  - Średnia temperatura powierzchni obiektu jest nośnikiem informacji o jego stanie technicznym: 0.5007483
- Wymagana jest duża szybkość rejestracji termogramów: 0.42744893
- Pomiary temperatury prowadź kamerą termowizyjną: 0.91921085
- Pomiary temperatury prowadź pirometrem: 0.3060376
- Ocenę stanu technicznego można przeprowadzić stosując metody termografii aktywnej: 0.4776011
  - Zmiana stanu technicznego może być przyczyną zmiany lokalizacji wewnętrznego źródła ciepła: 0.5127554
  - Zmiana stanu technicznego może być przyczyną zmiany temperatur wewnętrznych źródeł ciepła: 0.5005219
  - Na obiekt pada promieniowanie ciepłe z innych zewnętrznych źródeł: 0.47010216
  - Zmiana stanu technicznego może być przyczyną zróżnicowanej, lokalnej (punktowej) zmiany rezystancji cieplnej badanego obiektu: 0.5725074
  - Maksymalna temperatura powierzchni obiektu jest nośnikiem informacji o jego stanie technicznym: 0.5004126
- Pomiary temperatury prowadź termometrem stykowym: 0.6075875
- Ocenę stanu technicznego można przeprowadzić na podstawie obserwacji termowizyjnej: 0.5638877
- Ocenę stanu technicznego można przeprowadzić na podstawie punktowych pomiarów temperatury: 0.58216125
- Wartość emisyjności powierzchni obiektu jest niska: 0.49541765
- Kontaktowy pomiar temperatury na obiekcie jest utrudniony: 0.5

Rys. 11.16: Wyniki wnioskowania z zastosowaniem sieci stwierdzeń z nadanymi wartościami początkowymi w wybranych węzłach

## 11.7. Podsumowanie

W rozdziale przedstawiono wiedzę związaną z diagnostyką termiczną obiektów oraz przykład jej zapisu w postaci sieci stwierdzeń na podstawie, której możliwe było przeprowadzenie wnioskowania, którego wynikiem były wskazówki dotyczące doboru elementów układu diagnozującego dedykowanego dla diagnostyki termicznej obiektów. Zapis wiedzy przeprowadzono w systemie DiaDyn, opracowanym w Katedrze Podstaw Konstrukcji Maszyn. Utworzona w systemie sieć stwierdzeń pozwala rozpatrywać różne przypadki, zależne od zadanych wartości węzłów wskazujących o stopniu przekonania o prawdziwości danego stwierdzenia. Dzięki sieciowemu dostępowi do systemu DiaDyn, baza wiedzy i sieć

stwierzeń dotycząca diagnostyki termicznej może być rozwijana przez wielu ekspertów jednocześnie oraz wykorzystywana do rozwiązywania różnych problemów dotyczących diagnostyki termicznej przez osoby nie będące znawcami dziedziny.

## Bibliografia

- [11.1] Adamczewski W., Dyla K., Kajewski B., Polczyk L., Poloszyk S. Diagnostyka termiczna. Cempel Cz., Tomaszewski F., redaktorzy, *Diagnostyka Maszyn. Zasady ogólne. Przykłady zastosowań*, strony 47–69. Międzyresortowe Centrum Naukowe Eksploatacji Majątku Trwałego, Radom, 1992.
- [11.2] Burakowski T. Termowizja w diagnostyce i racjonalnej eksploatacji. *Eksploatacja Maszyn*, (5-6):31–33, 1985.
- [11.3] Gałka T., Kiciński J., Walczyk Z. Diagnostowanie wirnikowych maszyn energetycznych. Żółtowski B., Cempel Cz., redaktorzy, *Inżynieria diagnostyki maszyn*, strony 655–686. Polskie Towarzystwo Diagnostyki Technicznej. Instytut Technologii Eksploatacji - PIB, 2004.
- [11.4] Madura H., redaktor. *Pomiary termowizyjne w praktyce*. Agenda Wydawnicza PAKu, Warszawa, Luty 2007.
- [11.5] Maldague X. P. V. *Theory and Practice Of Infrared Technology For Nondestructive Testing*. John Wiley & Sons, INC., 2001.
- [11.6] Minkina W. *Pomiary termowizyjne - przyrządy i metody*. Wydawnictwo Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa, 2004.
- [11.7] Nowakowski A., redaktor. *Postępy termografii – aplikacje medyczne*. Wydawnictwo Gdańskie, 2001.
- [11.8] Poloszyk S., Różański L. Termowizyjna diagnostyka maszyn technologicznych. *Pomiary Automatyka Kontrola*, (1):15–18, 200.
- [11.9] Różański L., Chajda J. Ocena możliwości wykorzystania techniki termograficznej w diagnostyce termicznej obiektów i urządzeń energetycznych. *Zeszyty Naukowe Politechniki Opolskiej*, wolumen 315 serii *Elektryka*, strony 579–584. Politechnika Opolska, 2006.
- [11.10] Zarządzenie Ministrów Górnictwa i Energetyki oraz Gospodarki Materiałowej i Paliwowej z dnia 31 lipca 1987 r. w sprawie szczegółowych zasad eksploatacji turbin parowych. *Monitor Polski* 87.24.193, 20 Sierpień 1987.
- [11.11] Rząsa Mariusz R., Kiczma B. *Elektryczne i elektroniczne czujniki temperatury*. Wydawnictwo Komunikacji i Łączności, Warszawa, 2005.
- [11.12] Szopa A., Bober J., Patschek K. Zastosowania termowizji w energetyce. *Energetyka*, 9(555):130–136, Wrzesień 2000.
- [11.13] Technicad. System nadzoru maszyn wirnikowych TNC2000. <http://www.technicad.gliwice.pl>, 2005.
- [11.14] Zalewicz J. Wizualizacja parametrów technologicznych w komputerowych układach pomiarów i regulacji. *Automatyka*, 10:477–483, 2006.