

Rafał BONIECKI, Mirosław MICIAK

University of Technology and Life Sciences in Bydgoszcz, Institute of Telecommunications

## **APLIKACJA WSPIERAJĄCA PROCES PODEJMOWANIA DECYZJI O STANIE OBIEKTÓW TECHNICZNYCH**

**Streszczenie.** W artykule przedstawiono implementację algorytmu wspierającego proces podejmowania decyzji o stanie obiektów technicznych na podstawie danych wibroakustycznych. Omówiono sposób realizacji kluczowych elementów aplikacji z użyciem języka Java, wraz z wykorzystaniem biblioteki graficznej Swing i JFreeChart. Jako bazę danych, przechowującą obiekty, wybrano silnik FirebirdSQL, a komunikacja i generowanie zapytań pomiędzy aplikacją i bazą danych odbywać się będzie za pomocą technologii JDBC.

**Słowa kluczowe:** stan obiektów technicznych, Java, JFreeChart, FirebirdSQL

## **THE APPLICATION FOR SUPPORT OF DECISION-MAKING PROCESS OF A STATE TECHNICAL FACILITIES**

**Summary.** The paper presents the implementation of the algorithm to support decision-making process on the state of technical objects, based on vibroacoustic signals. The article discusses how to implement the main elements of the applications using Java technology, with using the Swing graphics library and JFreeChart component. As a database to hold the diagnostic objects we selected FirebirdSQL engine. For generating queries and communication between the application and database will be using the JDBC technology.

**Keywords:** The state of technical objects, Java, JFreeChart, FirebirdSQL

### **1. Wprowadzenie**

Jednym z większych problemów w diagnostyce urządzeń technicznych jest ocena ich stanu. Analiza stanu jest skomplikowana ze względu na dane eksploatacyjno-pomiarowe, które często charakteryzują się dużą wymiarowością. Definiując pojęcie wysokiej wymiarowości, mamy na myśli to, że poszczególne zbiory danych (np. dane pomiarowe odpowiadające po-

szczególnym stanom eksploatacyjnym) posiadają dużą liczbę atrybutów (zmiennych). W praktyce często okazuje się jednak, że wiele z tych atrybutów jest ze sobą dosyć mocno skorelowanych i do otrzymania pełnego obrazu stanu opisywanego urządzenia czy zauważenia pewnych prawidłowości (lub nieprawidłowości) w obiekcie, wystarczy uwzględnić jedynie niewielki ich podzbiór. Pomimo że istnieje wiele metod analizy stanów obiektów technicznych, określenie zdatności obiektu przy analizowaniu wszystkich symptomów jest zwykle albo niemożliwe, albo bardzo trudne do uzyskania. Spośród wielu zadań, które definiuje się w dziedzinie eksploatacji maszyn, duże znaczenie mają więc te, które pozwalają zredukować wymiarowość zbioru symptomów.

W metodologii badań diagnostycznych rozróżnia się następujące fazy badania klasyfikującego, które występują w następujących formach działania diagnostycznego: diagnozowanie, generowanie, prognozowanie.

Głównymi problemami pojawiającymi się przy rozwiązaniu oceny stanu urządzeń są: sformułowanie celu diagnozowania, prognozowania i generowania stanu, zmiana stanu maszyny w czasie eksploatacji, opis stanu za pomocą cech stanu i parametrów sygnału badanego stanu oraz zależność pomiędzy cechami stanu i parametrami diagnostycznymi.

Zatem podstawowymi problemami pojawiającymi się przy rozwiązaniu tak ujętych zadań było:

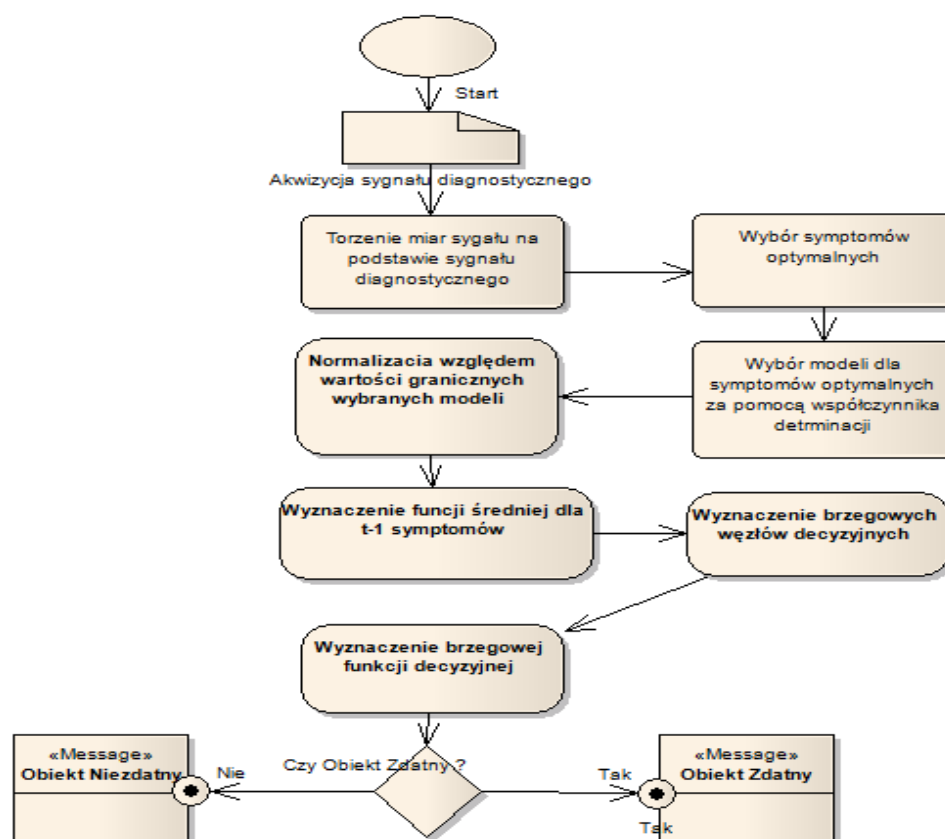
- wybór „najlepszych” parametrów diagnostycznych opisujących aktualny stan i ich zmiana w czasie eksploatacji obiektu technicznego,
- wyznaczenie wartości granicznej parametru diagnostycznego,
- wyznaczenie wartości generowanej parametru diagnostycznego i oszacowanie stanu obiektu technicznego, wartości wykonanej przez nią w przeszłości.

Głównymi celami autorów niniejszego artykułu są zaprojektowanie i utworzenie aplikacji, która będzie przydatna w procesie podejmowania decyzji o ocenie stanu obiektów technicznych. Dodatkowo tworzona aplikacja powinna umożliwiać komunikację pomiędzy komputerami, niezależnie od posiadanych platform sprzętowej i systemowej.

Oprogramowanie zostanie napisane z użyciem języka Java, wraz z zastosowaniem biblioteki graficznej Swing i JFreeChart. Jako bazę danych, przechowującą obiekty, wybrano silnik FirebirdSQL, a komunikacja i generowanie zapytań pomiędzy aplikacją i bazą danych odbywać się będą za pomocą technologii JDBC.

## 2. Algorytm wspierający proces podejmowania decyzji o stanie obiektów technicznych

Proces określenia stanu obiektu technicznego wskazuje klasę przynależności na podstawie dostępnej informacji jakościowej. W niniejszym artykule zaproponowano metodę oceny stanu obiektu technicznego realizowaną na podstawie statystycznej informacji uzyskanej na podstawie badania sygnałów wibroakustycznych. Na rysunku 1 przedstawiono opracowany algorytm wspierający proces podejmowania decyzji o stanie obiektu.



Rys. 1. Algorytm wspierający proces podejmowania decyzji o stanie obiektu na podstawie danych wibroakustycznych

Fig. 1. The algorithm supports the decision making process on the state of an object on the basis of vibroacoustic signals

### 2.1. Akwizycja danych pomiarowych i wyznaczenie miar sygnału

Zgodnie z opracowaną metodyką [3, 4], pierwszym etapem realizacji przedstawionego algorytmu (rys.1) jest akwizycja danych pomiarowych. Dane pomiarowe przechowywane są w tekstowych zbiorach UNV i dla potrzeb tworzonej aplikacji muszą być przetworzone do postaci zunifikowanej struktury dynamicznej. Dane pomiarowe, z uwagi na dowolną liczbę kanałów, przechowywane są w dwuwymiarowej strukturze dynamicznej, której rozmiary zależą od liczby próbek sygnału oraz od liczby kanałów.

W drugim etapie tworzone są miary sygnału wibroakustycznego do postaci wybranych estymat procesu drganiowego. Miary te najczęściej wyznaczane są z sygnałów w dziedzinie czasu, z ich transformat w dziedzinie częstotliwości lub czasu i częstotliwości. Zestawienie oznaczeń dla wybranych estymatorów (symptomów) używanych w utworzonej aplikacji przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1

Wykaz oznaczeń wybranych estymatorów (symptomów)

	Oznaczenie estymatora	Opis estymatora
1.	Media	Wartość średnia sygnału
2.	RMS(t)	Wartość globalna wartości skutecznej obliczana dla sygnału w dziedzinie czasu
3.	RMS(f)	Wartość globalna wartości skutecznej obliczana dla sygnału w dziedzinie częstotliwości
4.	RMSp	Wartość globalna wartości szczytowej mocy widmowej
5.	Max	Wartość szczytowa sygnału
6.	Min	Wartość minimalna sygnału
7.	Kurtosis	Kurtoza serii danych
8.	Sesgo	Miara asymetrii serii danych
9.	D. Estdandar	Odchylenie standardowe
10.	Factor Forma	Współczynnik kształtu
11.	Factor Cresta	Współczynnik szczytu
12.	Factor Impulso	Współczynnik impulsu
13.	Factor Holgura	Współczynnik luzu
14.	Fu (v)	Częstotliwość Rice'a dla prędkości drgań
15.	F u(d)	Częstotliwość Rice'a przemieszczenia drgań
16.	H(v)	Współczynnik harmoniczności prędkości drgań

## 2.2. Normalizacja symptomów

Dla zbioru atrybutów (w postaci kolumn symptomów) przeprowadzana jest procedura wstępnej obróbki danych w celu umożliwienia ich wzajemnego porównywania i dalszej analizy. Ze względu na rodzaj przetwarzanych danych, zastosowano standaryzację, w wyniku której zmienna uzyskuje średnią wartość oczekiwaną zero i wariancję jeden. Najczęściej spotykanym sposobem standaryzacji jest tzw. standaryzacja  $z$ , którą można wyrazić poniższym wzorem:

$$z = \frac{x - \mu}{\sigma}, \quad (1)$$

gdzie:  $x$  – wartość symptomu,  $\mu$  – średnia wartość dla symptomu,  $\sigma$  – odchylenie standardowe symptomu.

## 2.3. Wybór symptomów obiektu technicznego

Liczba symptomów pochodząca z jednego lub więcej sygnałów (kanałów pomiarowych) może być bardzo duża, lecz większość z nich jest bardzo zakłócona lub niezależna od monitorowanego zjawiska. Należy zatem wybrać te, które są skorelowane z tym zjawiskiem.

Liczba takich miar sygnałów musi być na tyle duża, by skompensować przypadkowe zakłócenia nieuniknione w każdej z nich. W zaproponowanym rozwiązaniu zastosowano wybór symptomów z zastosowaniem teorii zbiorów przybliżonych. Technika ta dostarcza metod do określania najważniejszych atrybutów systemu informacyjnego, bez utraty zdolności klasyfikacji [5]. Teoria zbiorów przybliżonych została wprowadzona przez Z. Pawlaka [1, 2, 7, 8], oparta jest ona na koncepcjach górnej i dolnej aproksymacji zbioru, przestrzeni aproksymującej i modeli zbiorów. Dane przedstawia się w postaci tablicy, w której kolumny odpowiadają atrybutom (symptomom), a wiersze odpowiadają poszczególnym obiektom (stany obiektu technicznego). Zapis taki nosi nazwę systemu informacyjnego [5, 6]. Podstawą teorii zbiorów przybliżonych jest redukt (ang. reduct), który stanowi zasadniczą część systemu informacyjnego. Dzięki niemu możliwe jest rozróżnienie wszystkich rozróżnialnych obiektów z oryginalnego zbioru atrybutów, zatem redukty to minimalne podzbiory atrybutów zachowujących charakterystykę całego zbioru atrybutów. W literaturze opisanych jest wiele metod wyznaczania zbiorów reduktów systemu informacyjnego. Dla potrzeb aplikacji autorzy uwzględnili metody: Johnsona, globalną oraz lokalną [9, 10]. Istotność symptomów określona została na podstawie wyznaczonego zbioru reduktów, gdzie atrybuty uszeregowane zostały zgodnie z liczbą wystąpień w zbiorze. Przykładowy zbiór reduktów przedstawiono w tabeli 2.

Tabela 2

Zbiór reduktów

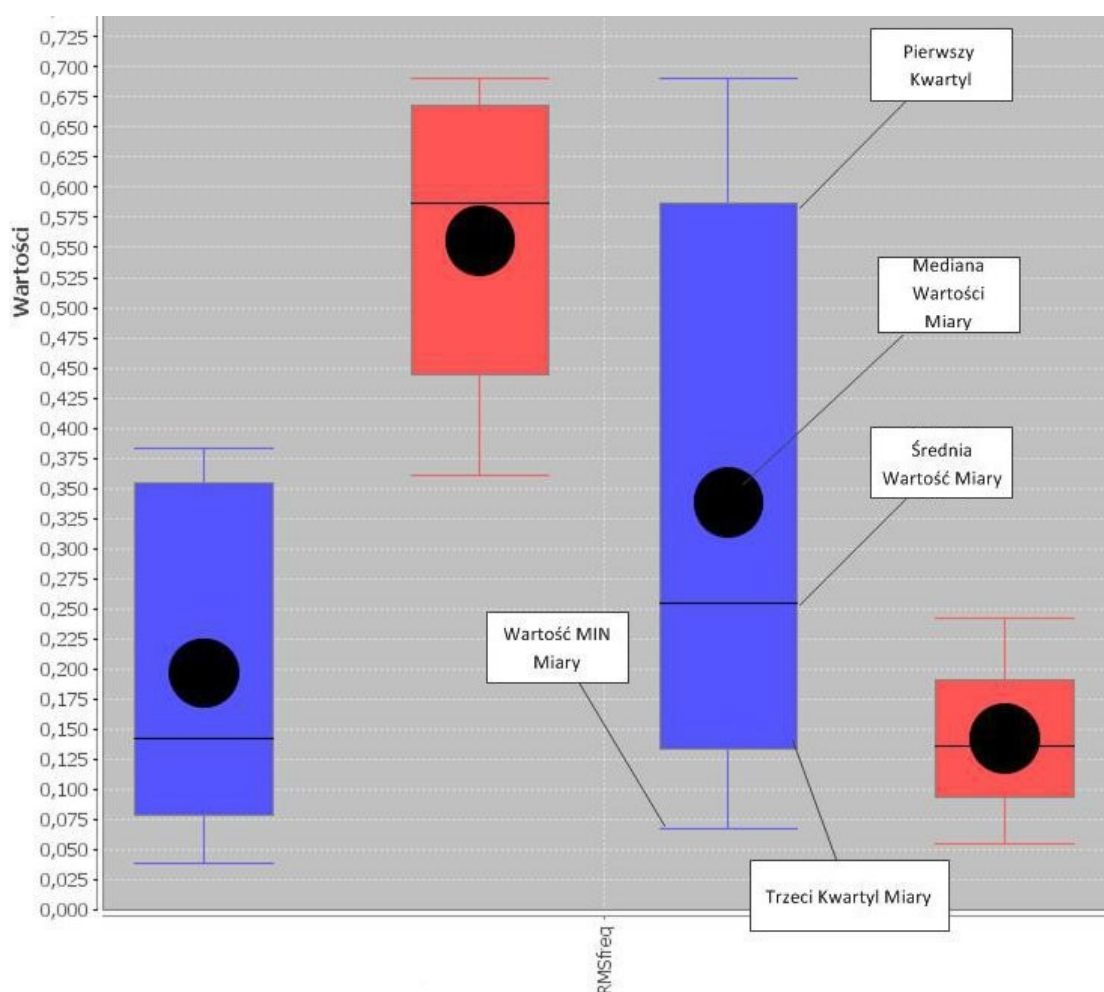
L.P	Liczba	REDUKTY (nr symptomu)
1	9	{ " 1", " 3", " 6", " 7", " 10", " 12", " 29", " 31", " 35" }
2	9	{ " 1", " 3", " 6", " 7", " 10", " 22", " 29", " 31", " 35" }
3	8	{ " 1", " 3", " 6", " 10", " 11", " 12", " 15", " 31" }
4	9	{ " 1", " 3", " 6", " 10", " 11", " 12", " 29", " 31", " 35" }
5	8	{ " 1", " 3", " 6", " 10", " 11", " 15", " 22", " 31" }
6	8	{ " 1", " 3", " 6", " 10", " 11", " 22", " 29", " 31" }
7	8	{ " 1", " 3", " 6", " 10", " 11", " 22", " 31", " 35" }

Uszeregowane symptomy ze względu na istotność przedstawiono w tabeli 3.

Tabela 3

Symptomy uporządkowane względem istotności

Symptom	1	3	6	10	31	11	12	29	35	22	15
Liczba	7	7	7	7	7	5	4	4	4	3	1



Rys. 2. Wizualizacja miar symptomów uzyskanych z danych wibroakustycznych<sup>1</sup>  
 Fig. 2. Visualization of the symptoms measure obtained from the vibroacoustic signals

#### 2.4. Wyznaczenie brzegowej funkcji decyzyjnej na podstawie $t$ symptomów z jednakowymi wagami

Zadanie podjęcia decyzji na podstawie  $t$ -wymiarowego modelu możemy sformułować następująco:

W przedziale  $\langle a, b \rangle$  danych jest  $(t-1)(n+1)$  różnych punktów  $x_0, x_1, \dots, x_t(n+1)$ , które możemy nazwać węzłami decyzyjnymi, a wartości funkcji  $y(x)$  w tych punktach wynoszą odpowiednio  $f(x_0) = y_0, f(x_1) = y_1, \dots, f(x_t(n+1)) = y_t(n+1)$ .

Do zbioru węzłów decyzyjnych nie są zaliczane punkty wyznaczone przez symptom osiągający najszybciej wartość graniczną, punkty te dla rozróżnienia nazwiemy skrajnymi węzłami decyzyjnymi, a wartość funkcji w tym punkcie wynosi  $y = f_s(x)$ .

Dysponując węzłami decyzyjnymi, możemy wyznaczyć średnie węzły decyzyjne w przedziale  $\langle a, b \rangle$ , będące średnią ważoną dla  $t-1$  miar symptomów:

<sup>1</sup> Wykorzystano Klasę BoxAndWhiskerDemo z pakietu <http://www.jfree.org/jfreechart/index.html>

$$\bar{S}_n = \frac{w_1 y_1(x_n) + \dots + w_{t-1} y_{t-1}(x_n)}{w_1 + \dots + w_{t-1}}. \quad (2)$$

gdzie  $w_0, \dots, w_{t-1}$  są wagami poszczególnych symptomów.

Dysponując średnimi węzłami decyzyjnymi, aproksymujemy wielomianem  $n$ -tego stopnia i otrzymujemy funkcję ciągłą, nazwaną dalej funkcją średnią dla  $t-1$  symptomów, a wartość funkcji w tym punkcie wynosi  $y = f_{t-1}(x)$ .

W celu wyznaczenia brzegowej funkcji decyzyjnej wprowadzam pojęcie odległości profilaktycznej w przedziale  $\langle a, b \rangle$ . Odległość profilaktyczna  $d_{x_0}$  jest to liczba nieujemna jednoznacznie przypisana odcinkowi, spełniająca warunki:

$$\begin{aligned} |AB| &= 0 \text{ wtedy i tylko wtedy, gdy } A = B, \\ |AB| &= |BA|, \\ |AC| &\leq |AB| + |BC|, \end{aligned}$$

gdzie  $A, B$  i  $C$  są dowolnymi punktami płaszczyzny. Liczbą  $|AB|$  nazywamy odległość profilaktyczną punktu  $A$  od punktu  $B$ , którą wyraża się liczbą:

$$|AB| = d_{x_0} = \sqrt{(\max_{0 \leq n \leq t-1} f_n(x_0) - f_{t-1}(x_0))^2},$$

gdzie  $A = (x_0, \max_{0 \leq n \leq t-1} f_n(x_0))$  i  $B = (x_0, f_{t-1}(x_0))$ .

Dysponując odległością profilaktyczną  $d_{x_0}$  w punkcie  $x_0$ , wyznaczamy brzegowe węzły decyzyjne w punkcie  $x_0$ , należącym do przedziału  $\langle a, b \rangle$ .

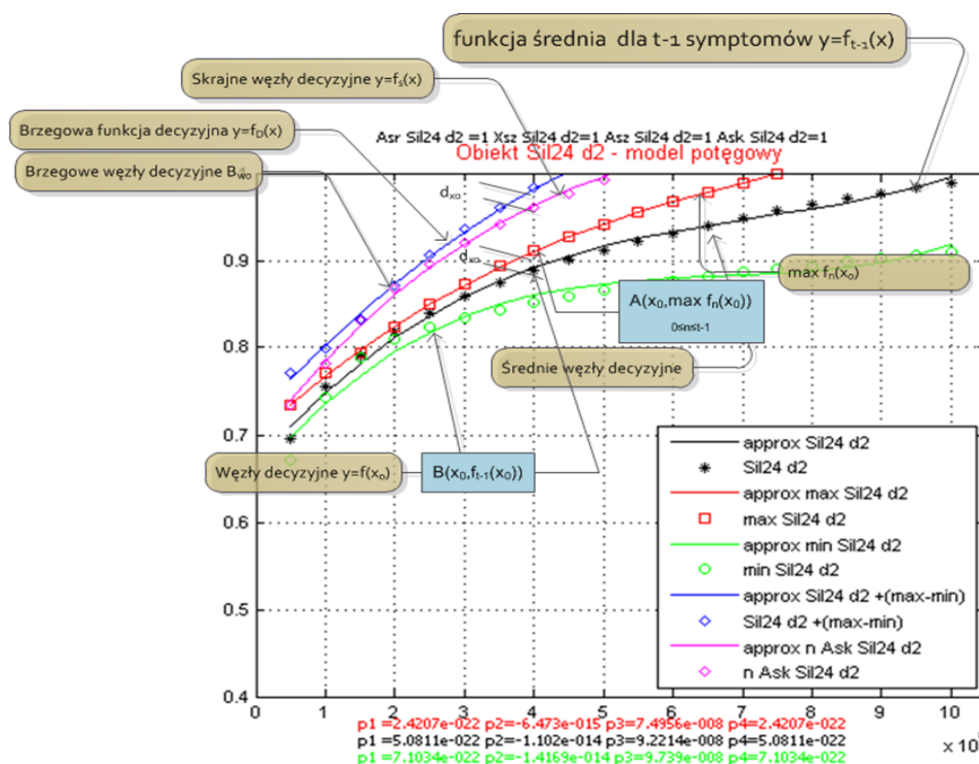
Brzegowy węzeł decyzyjny w punkcie  $x_0$  jest zdefiniowany  $Bw_0 = (x_0, d_{x_0} + f_S(x_0))$ .

Dysponując brzegowymi węzłami decyzyjnymi w przedziale  $\langle a, b \rangle$ , aproksymujemy je wielomianem  $n$ -tego stopnia i otrzymujemy funkcję ciągłą, nazwaną dalej brzegową funkcją decyzyjną dla  $t$  symptomów, a wartość funkcji w tym punkcie wynosi  $y = F_D(x)$ .

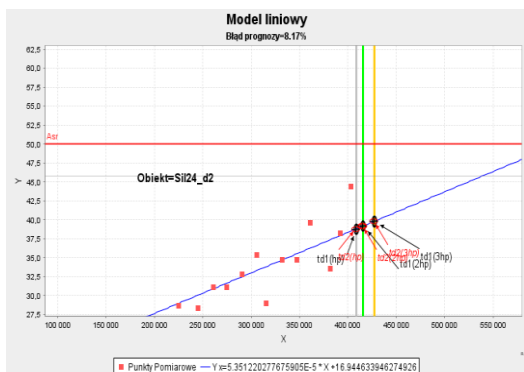
Dysponując brzegową funkcją decyzyjną, można podjąć decyzję o stanie obiektu z wykorzystaniem  $t$  symptomów.

## 2.5. Wybór modeli opisujących ewolucję uszkodzenia

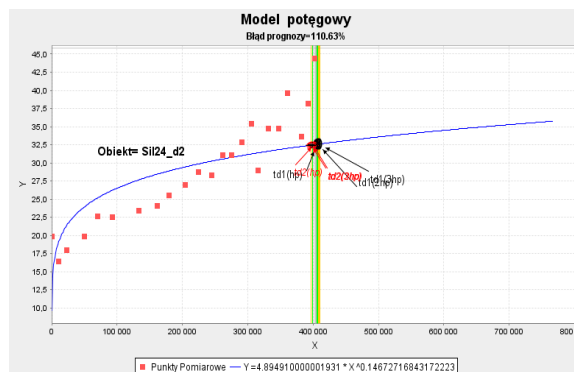
Po przeprowadzeniu procesu wyboru symptomów najlepiej opisujących dany obiekt techniczny, można przystąpić do budowy modelu (rys. 4 oraz rys. 5) opisującego ewolucję uszkodzenia dla badanego obiektu. Umożliwia to kompleksowe rozpoznawanie stanu maszyny przez pokładowe lub stacjonarne systemy diagnostyczne działające na podstawie opisanego algorytmu. Dla wybranych symptomów za pomocą zaproponowanego algorytmu (punkt 2.4) wyznaczono modele potęgowe i eksponentialne symptomów  $Asr, Xsz, Asz, Ask$ , dla obiektu  $Sil24\_d2$  (wartości parametrów poszczególnych modeli przedstawiono w tabeli 3).



Rys. 3. Wyznaczenie brzegowej funkcji decyzyjnej  
Fig. 3. Determination of shoreline decision function



Rys. 4. Model liniowy symptomu Asr Sil24\_d2  
Fig. 4. Linear model for symptom Asr Sil24\_d2



Rys. 5. Model potęgowy Xsz Sil24\_d2  
Fig. 5. Power series model for Xsz Sil24\_d2

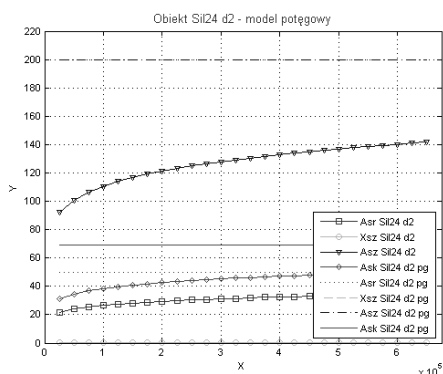
Tabela 4

Modele potęgowe i eksponentialne wybranych symptomów obiektu Sil24\_d2

Symptom	Model potęgowy	Model eksponentialny	Wartości graniczne
Asr_Sil24_d2	$4.89491 * x.^{0.146727168}$	$18.0803 * \exp(1.9551414E-6 * x)$	50
Xsz_Sil24_d2	$0.14341 * x.^{0.071569542}$	$0.26399 * \exp(1.7536301E-6 * x)$	5
Asz_Sil24_d2	$24.05980 * x.^{0.132450920}$	$77.03300 * \exp(1.8367322E-6 * x)$	200
Ask_Sil24_d2	$7.02050 * x.^{0.147649869}$	$25.7803 * \exp(2.0315695E-6 * x)$	69

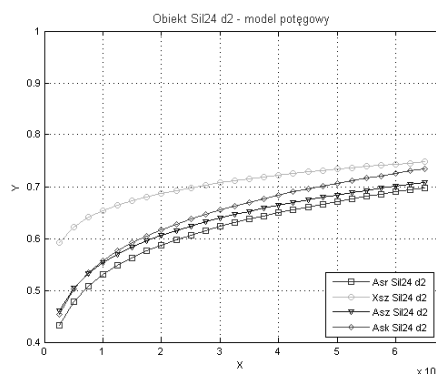
Na podstawie wyznaczonego modelu Sil24\_d2 (rysunek 8) można określić miejsce osiągnięcia wartości granicznej (rys. 9).





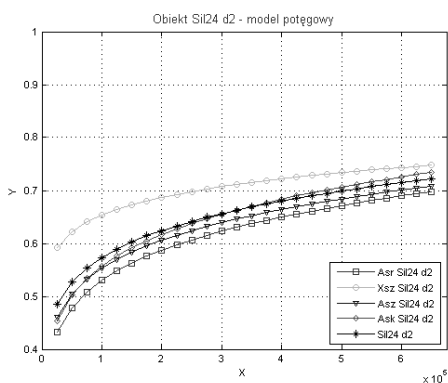
Rys. 6. Model potęgowy Asr, Xsz, Asz, Ask Sil24\_d2

Fig. 6. Power series model for Asr, Xsz, Asz, Ask, Sil24\_d2



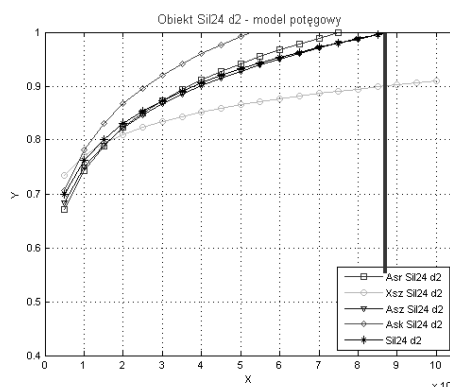
Rys. 7. Znormalizowany względem wartości granicznych model potęgowy Asr, Xsz, Asz, Ask Sil24\_d2

Fig. 7. Standardized model limits the power series Asr, Xsz, Asch, Ask Sil24\_d2



Rys. 8. Model potęgowy obiektu Sil24\_d2

Fig. 8. Power series model Sil24\_d2



Rys. 9. Osiągnięcie wartości granicznej dla obiektu Sil24\_d2 – model potęgowy

Fig. 9. Reaching the limit value for the object Sil24\_d2 – power series model

### 3. Podsumowanie

W artykule przedstawiono implementację algorytmu wspierającego proces podejmowania decyzji o stanie obiektów technicznych na podstawie danych wibroakustycznych. Omówiono sposób realizacji kluczowych elementów aplikacji. Zastosowanie technologii Javy zapewnia możliwość mobilności aplikacji (niezależność od systemu operacyjnego). Wykorzystanie technologii open-source znacznie obniża koszty wdrożenia. W aplikacji wykorzystano interfejs JDBC (Java DataBase Connectivity) do łączenia z bazą SQL Firebird. Baza SQL dla aplikacji zawiera 12 tabel, 108 procedur wykorzystujących biblioteki UDF (User Defined Function). Relacje między tabelami bazy omawianej aplikacji przedstawiono na rysunku 10.



## BIBLIOGRAFIA

1. Bazan J., Szczuka M., Wróblewski J.: A New Version of Rough Set Exploration System. Lecture Notes in Artificial Intelligence, Vol. 2475, Springer-Verlag, 2002, s. 397÷404.
2. Bazan J., Szczuka M., Wojna A., Wojnarski M.: On Evolution of Rough Set Exploration System. Lecture Notes in Artificial Intelligence, Vol. 3066, Springer-Verlag, 2004, s. 592÷601.
3. Boniecki R., Miciak M., Wiatr R.: Modele nienadzorowanego grupowania obiektów technicznych z wykorzystaniem metod inteligencji obliczeniowej. Studia i materiały Polskiego Stowarzyszenia Zarządzania Wiedzą, nr 49, Bydgoszcz 2011, s. 35÷48.
4. Boniecki R., Miciak M.: Algorytm wspierający proces podejmowania decyzji o stanie obiektu z wykorzystaniem sygnałów wibroakustycznych. Studia i materiały Polskiego Stowarzyszenia Zarządzania Wiedzą, nr 47, Bydgoszcz 2011, s. 36÷51.
5. Szydłowska E.: Algorytmy selekcji atrybutów w zadaniach eksploracji danych. XIII Konferencja użytkowników i deweloperów ORACLE, Zakopane 2007, s. 262÷267.
6. Walczak B., Massart D. L.: Rough sets theory. Chemoemetrics and Intelligent Laboratory Systems, Vol. 47, 1999, s. 1÷16.
7. Pawlak Z.: Information Systems – theoretical foundations. WNT, Warszawa 1983.
8. Pawlak Z.: Rough sets. Int. Journal of Parallel Programming, Vol. 11(5), 1982, s. 341÷356.
9. Ohrn A.: Discernibility and Rough Sets in Medicine. Tools and Applications. PhD Thesis, Dep. of Comp. & Inf. Science, Norwegian Univ. of Science & Technology, 1999.
10. Salamó M., Golobardes E.: Global, Local and Mixed Rough Sets Case Base Maintenance Techniques. Recent Advances in Artificial Intelligence Research and Development, 2004, s. 217÷234.

Wpłynęło do Redakcji 10 stycznia 2012 r.

## Abstract

The paper presents the implementation of the algorithm to support decision-making process on the state of technical objects, based on vibroacoustic signals. The article discusses how to implement the main elements of the applications using Java technology, with the use of Swing graphics library and JFreeChart component. As a database to hold the diagnostic

objects we selected FirebirdSQL engine. For generating queries and communication between the application and database will be using the JDBC technology.

### **Adresy**

Rafał BONIECKI: University of Technology and Life Sciences in Bydgoszcz, Institute of Telecommunications, Kaliskiego 7, 85-791 Bydgoszcz, Poland, raboni@utp.edu.pl.

Mirosław MICIAK: University of Technology and Life Sciences in Bydgoszcz, Institute of Telecommunications, Kaliskiego 7, 85-791 Bydgoszcz, Poland, miciak@utp.edu.pl.