

## ZASTOSOWANIE „DRZEWA DECYZYJNEGO” W TORZE SPRAWDZEŃ DIAGNOSTYCZNYCH

### Streszczenie

*W artykule zaprezentowano problematykę wyznaczania informacji diagnostycznej na potrzeby badania złożonego obiektu technicznego. W tym celu przedstawiono i opisano istotę opracowywania modelu funkcjonalno-diagnostycznego. Na podstawie opracowanego modelu badanego obiektu wyznaczono informację diagnostyczną, która składa się z dwóch elementów: zbioru elementów podstawowych oraz zbioru sygnałów diagnostycznych, które są wypracowane przez wyznaczone  $j$ -te elementy w  $i$ -tych zespołach funkcjonalnych obiektu. Wyznaczony zbiór elementów podstawowych w obiekcie są bazą do wyznaczania „drzewa decyzyjnego” wyznaczającego możliwy zbiór stanów.*

### WSTĘP

W czasie użytkowania obiektu technicznego zachodzą w nim zmiany starzeniowe oraz zużywają się elementy funkcjonalne (konstrukcyjne). Jest to proces niekorzystny, w czasie którego maleją własności użytkowe obiektu. Brak rozpoznania tego zjawiska może doprowadzić do uszkodzenia obiektu. W efekcie obiekt znajdzie się w stanie niezdatności i nie będzie realizował swoich zadań. Współcześnie organizowany system diagnozowania obiektów technicznych realizujący funkcję lokalizacji uszkodzeń może być mało efektywny. Pomocą w takich sytuacjach mogą być ekspertowe systemy wspomagające diagnozowanie obiektów technicznych. Istotnymi ich elementami są opracowywane przez specjalistów bazy wiedzy ekspertowej. Praktyka diagnostyczna [1-11] dowodzi, że systemy ekspertowe w diagnostyce obiektów technicznych są powszechnie stosowane. Jednym z powodów tego zjawiska jest złożoność współczesnych obiektów technicznych oraz szybkość w dążeniu użytkownika do pozyskiwania wiarygodnej informacji o stanie obiektu.

Obecnie trwają prace badawcze, a także są rozwiązywane różne aspekty w zakresie przetwarzania wiedzy człowieka – specjalisty na język komputerowy i wykorzystania jej w inteligentnych systemach. Większość z tych opracowań badawczych dotyczy opisu współpracy pomiędzy człowiekiem, a komputerem i odwrotnie. Takie działania występują w systemach inteligentnych, w zastosowaniach w systemach odnawiających cechy eksploatacyjne obiektów technicznych. Ważnym kierunkiem badań dotyczących organizacji inteligentnych systemów obsługi jest doskonalenie metod przedstawiania i zestawiania baz wiedzy specjalistycznej człowieka – eksperta. W początkowych opracowaniach wspierających proces obsługi obiektów dominowały opracowania o charakterze tworzenia i opisu metod przekształcania wiedzy specjalisty – eksperta na wiedzę w języku komputerowym.

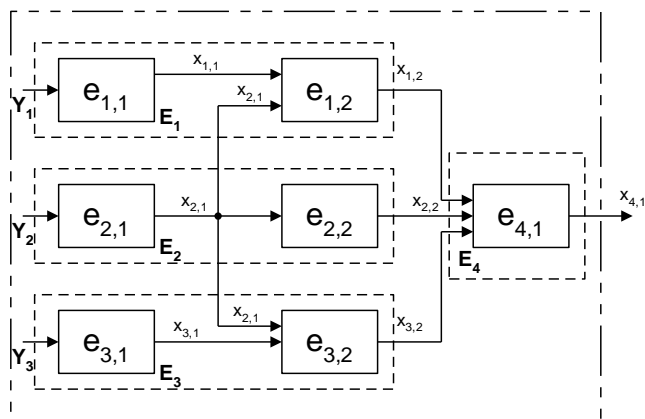
W pracach [3, 5] opisano podejście do komputerowego diagnozowania obiektów technicznych. Doświadczenia diagnostyczne złożonych obiektów technicznych wskazują, że aby zlokalizować uszkodzony w nich element podstawowy, należy zbadać liczny zbiór sygnałów diagnostycznych. W obiektach technicznych, w których istnieje konieczność sprawdzenia dużego zbioru sygnałów wyjścio-

wych, diagnozowanie tradycyjne [2-9] nie spełnia swej roli ze względu na duże koszty i czasochłonne badanie stanu obiektu. Dlatego wspomaganie diagnozowania obiektu przy wykorzystaniu wiedzy ekspertowej daje znacznie lepsze wyniki.

Podstawą w projektowaniu systemu diagnostycznego dowolnego obiektu technicznego jest jego analiza funkcjonalno-diagnostyczna rozumiana jako proces pozyskiwania wejściowej informacji diagnostycznej o obiekcie.

### 1. MODEL FUNKCJONALNO-DIAGNOSTYCZNY OBIEKTU DIAGNOZOWANIA

Istotnym elementem w przedstawionym modelu inteligentnego systemu wspomagającego obsługiwania obiektu technicznego jest obiekt techniczny. Model obiektu technicznego na potrzeby organizacji procesu jego diagnozowania oraz obsługi jest najczęściej przedstawiany w postaci modelu funkcjonalno – diagnostycznego. Przyjęty do badań obiekt techniczny o strukturze wewnętrznej przedstawionej na rys. 1 jest obiektem złożonym dowolnej klasy. Istnieje jednak warunek, że w obiekcie w wyznaczonych punktach pomiarowych jego struktury wewnętrznej występują sygnały pomiarowe – diagnostyczne (sygnały analogowe lub fizyczne), którym przypisane są cechy sygnałów diagnostycznych [2-5]. Model obiektu technicznego na potrzeby organizacji procesu jego diagnozowania oraz obsługi jest najczęściej przedstawiany w postaci modelu funkcjonalno – diagnostycznego. Przyjęty do badań obiekt techniczny o strukturze wewnętrznej przedstawionej na rys. 1 jest obiektem złożonym dowolnej klasy. Istnieje jednak warunek, że w obiekcie w wyznaczonych punktach pomiarowych jego struktury wewnętrznej występują sygnały pomiarowe – diagnostyczne (sygnały analogowe lub fizyczne), którym przypisane są cechy sygnałów diagnostycznych [2, 9]. Opracowując model obiektu dokonano podziału jego struktury wewnętrznej na cztery poziomy struktury obsługowej: *poziom pierwszy: obiekt  $\{O\}$ , poziom drugi: zespoły funkcjonalne  $\{E_j\}$  w obiekcie, poziom trzeci: podzespoły  $\{e_j\}$ . w każdym zespole  $\{E_j\}$ , poziom czwarty: moduły-elementy podstawowe  $\{e_{i,j}\}$  w każdym podzespole każdego zespołu obiektu. Dokonując takiego podziału struktury obiektu uzyskuje się zbiór elementów składowych  $\{e_{i,j}\}$ .*



**Rys. 1.** Model funkcjonalno-diagnostyczny obiektu, gdzie:  $X_i$  – wyjściowy sygnał diagnostyczny na wyjściu  $i$ -tego elementu funkcjonalnego,  $Y_m$  – sygnały wejściowe podawane do „ $m$ ” wejść obiektu,  $E_i$  – struktura  $i$ -tego zespołu funkcjonalnego obiektu,  $e_{i,j}$  –  $j$ -ty element podstawowy w  $i$ -tym zespole obiektu

Powyższy sposób podziału struktury wewnętrznej obiektu jednoznacznie opisuje reguła diagnostyczna, którą zastosowano do podziału struktury wewnętrznej obiektu do poziomu elementu podstawowego (modułu). Regułą tą przedstawiono w postaci zależności:

$$R_e : \{O\} \Rightarrow \{E_1, E_2, \dots, E_i, \dots, E_I\} \Rightarrow \{E_i\}; \text{gdzie } i = \overline{1, I} \quad (1)$$

gdzie:  $R_e$  – reguła diagnostyczna dokonująca podziału struktury wewnętrznej z określoną głębokością w badanym obiekcie ( $O$ ),  $O$  – struktura wewnętrzna obiektu,  $\Rightarrow$  – relacja dekompozycji (podziału) struktury,  $E_i$  – struktura  $i$ -tego zespołu funkcjonalnego obiektu.

Pierwszy poziom struktury obsługowej obiektu stanowi sam obiekt i jest on zbiorem zespołów funkcjonalnych  $\{E_i\}$ . Zespoły funkcjonalne obiektu stanowią drugi poziom struktury obsługowej obiektu, a każdy z nich jest zbiorem podzespołów obsługowych. Podzespoły w zespołach stanowią trzeci poziom struktury obsługowej obiektu. Najniższy poziom, tj. czwarty poziom struktury, stanowią elementy podstawowe – moduły. Każdy podzespół składa się z elementów podstawowych, które są najmniejszym i niepodzielnym elementem funkcjonalnym w strukturze obiektu.

W pracy przyjęto założenie, że elementem podstawowym w obiekcie są te elementy, na wyjściu których, występują pomiarowe sygnały wyjściowe (diagnostyczne). Dysponując wyznaczonym zbiorem zespołów funkcjonalnych w kolejnym kroku podziału struktury obiektu dokonuje się dekompozycji struktury  $i$ -tych zespołów funkcjonalnych obiektu na podstawie zależności:

$$R_e : \{E_i\} \Rightarrow \{e_{i,1}, e_{i,2}, \dots, e_{i,j}, \dots, e_{i,J}\} \Rightarrow \{e_{i,j}\}; \text{gdzie } i = \overline{1, I}; j = \overline{1, J} \quad (2)$$

gdzie:  $R_e$  – reguła diagnostyczna dokonująca podziału struktury wewnętrznej z określoną głębokością w badanym obiekcie,  $\Rightarrow$  – relacja dekompozycji (podziału) struktury  $i$ -tego zespołu funkcjonalnego obiektu,  $E_i$  – struktura  $i$ -tego zespołu funkcjonalnego obiektu,  $e_{i,j}$  –  $j$ -ty element podstawowy w  $i$ -tym zespole obiektu.

Jeżeli obiekt podzielony został na  $i$ -poziomów strukturalnych, a w każdym z nich jest podzbiór  $j$ -tych elementów podstawowych (modułów). Zatem każdy z  $i$ -tych poziomów strukturalnych obiektu stanowi zbiór elementów obsługowych  $\{e_{i,j}\}$  (rys. 1). Sposób podziału struktury obsługowej obiektu wykonany zgodnie z zależnością (2) zapewnia dogodny sposób opisywania – adresowania elementów tej struktury obiektu w postaci zależności:

$$R_e : \{O\} \Rightarrow \{E_i\} \Rightarrow \{e_{i,1}, e_{i,2}, \dots, e_{i,j}, \dots, e_{i,J}\} \Rightarrow \{e_{i,j}\}; \text{gdzie } i = \overline{1, I}; j = \overline{1, J} \quad (3)$$

Jednym z celów analizy funkcjonalno-diagnostycznej jest wyznaczenie stanu obiektu. Stan obiektu jest wyznaczany na podstawie badania zbioru sygnałów wyjściowych – diagnostycznych  $\{X(e_{i,j})\}$  (tab. 1), takie podejście jest stosowane w praktyce diagnostycznej [5, 6, 7, 131, 132].

Przyjęty w pracy podział struktury wewnętrznej obiektu  $\{e_{i,j}\}$  określa jednoznacznie głębokość wnikania w tę strukturę. Przyjęty podział uważa się za wystarczający, jeżeli w strukturze obiektu wyróżnimy moduł – element podstawowy. Jednym z celów analizy funkcjonalno – diagnostycznej jest wyznaczenie stanu obiektu. Stan obiektu jest wyznaczany na podstawie badania zbioru sygnałów wyjściowych (diagnostycznych)  $\{X_{i,j}\}$  (tab. 1). Wyznaczony w czasie opracowania diagnostycznego obiektu zbiór jego elementów funkcjonalnych  $\{e_{i,j}\}$  jest podstawą do zestawienia w postaci tablicowej zbioru sygnałów diagnostycznych. Zbiór wejściowej informacji diagnostycznej w pracy przedstawiono w postaci tablicy sygnałów diagnostycznych (tab. 1),

**Tab. 1.** Tablica wyjściowych sygnałów diagnostycznych obiektu

Obiekt	Zespoły obiektu $E_i$	Wektor sygnałów diagnostycznych $\{X(e_{i,j})\}$				
		$X(e_{i,1})$	...	$X(e_{i,j})$	...	$X(e_{i,J})$
O	$E_1$	$X(e_{1,1})$	...	$X(e_{1,j})$	...	$X(e_{1,J})$
	⋮	⋮	...	⋮	...	⋮
	$E_i$	$X(e_{i,1})$	...	$X(e_{i,j})$	...	$X(e_{i,J})$
	⋮	⋮	...	⋮	...	⋮
	$E_I$	$X(e_{I,1})$	...	$X(e_{I,j})$	...	$X(e_{I,J})$

gdzie:  $X(e_{i,j})$  – sygnał diagnostyczny  $j$ -tego elementu w  $i$ -tym zespole.

## 2. ZASTOSOWANIE „DRZEWA DECYZYJNEGO” W TORZE SPRAWDZEŃ DIAGNOSTYCZNYCH

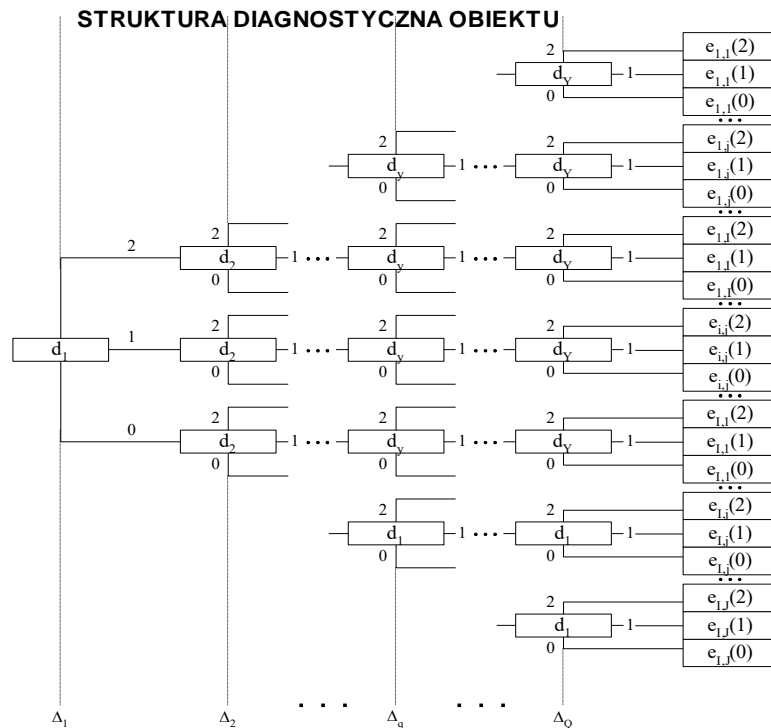
W literaturze dotyczącej organizacji systemów inteligentnych znane jest podejście wykorzystania klasyfikatora opartego na drzewach decyzyjnych w procesie wnioskowania [ ]. Klasyfikator tego typu został zdefiniowany przez J. Rossa Quinlana w 1979 roku.

Metoda klasyfikacji oparta na drzewach decyzyjnych polega na podziale przestrzeni cech decyzyjnych granicami równoległymi do wyznaczonej przestrzeni decyzyjnej w przyjętym układzie współrzędnych. Granice w procesie wnioskowania – podejmowania decyzji są wyznaczane przez sekwencyjne lub liniowe ustalanie progów (podziału) dla poszczególnych cech wnioskowania. Celem końcowym jest opracowanie drzewa „ścieżki – drogi”, które dobrze klasyfikowałyby również obiekty nieznanne „nowe” nie znajdujące się jeszcze w ciągu uczącym.

Hierarchicznie w rozwoju metod wnioskujących w systemach inteligentnych powstała nowa metoda klasyfikacji cech nazwana metodą analizy skupisk. Metoda ta przypisana była dla systemów wykorzystujących teorię rozpoznawania obrazów. Jeżeli przyjmiemy założenie, że dysponujemy w procesie wnioskowania zbiorem wektorów cech uczących. Dodatkowo dysponujemy także klasyfikatorem, którego zadaniem jest przypisywanie nieznananych obrazów „wektorów cech” do właściwych kategorii klas. Stąd zadaniem metody jest pogrupowanie tych obrazów – wektorów cech w skupiska reprezentujące klasy. Pogrupowanie powinno przeprowadzić się w taki sposób, aby obrazy ciągu uczącego, które przyporządkowano do tego skupiska (klasy) były do siebie podobne lub takie same. Natomiast wektory cech należące do różnych skupisk (klas) różniły się od siebie jak najbardziej. Sposób wnioskowania związany z wykorzystaniem drzewa decyzyjnego to zestawianie wielopoziomowej ścieżki decyzyjnej w oparciu o kolejne zinterpretowane skupiska (klasy) na kolejnych poziomach. Zestawienie w procesie wnioskowania pełnego zbioru skupisk (klas) wyróżnionych wektorów cech ma postać drzewa decyzyjnego.

Sprawdzania  $d_i$  i wyniki sprawdzeń  $D_i$  wpisane w macierz diagnostyczną można przedstawić graficznie w postaci schematu sprawdzeń. Schemat sprawdzeń, który przedstawiono na rys. 2,

stanowi graficzne przedstawienie macierzy diagnostycznej. Węzłom schematu przyporządkowano sprawdzenia, natomiast gałęzie wychodzące z węzła odpowiadają wynikom sprawdzeń.



Rys. 2. Schemat sprawdzeń

W wyniku wykonania  $i$ -sprawdzeń  $i = \overline{1, I}$  zbiór wszystkich elementów podstawowych obiektu  $O$  podzielony został na  $e_{ij}$  gdzie:  $i = \overline{1, I}$ ;  $j = \overline{1, J}$  podzbiorów jednoelementowych, tzn. zlokalizowano wszystkie niezdatne lub nie w pełni zdatne elementy  $e_{ij}$ . Gałąź zakończona zbiorem pustym oznaczona została symbolem  $\emptyset$ .

Każda gałąź sprawdzenia odpowiada jednemu wzorowi niezdatności, a zbiór wszystkich wzorów niezdatności i niepełnych zdatności stanowi słownik niezdatności diagnozowanego obiektu  $O$ .

Poszczególne poziomy  $\Delta_1, \Delta_2, \dots, \Delta_q, \dots, \Delta_Q$  schematu sprawdzeń, przedstawionego graficznie na rys. 1. nazwano poziomami decyzyjnymi. Wyznaczony zbiór sprawdzeń dostępnych (1÷6) dogodnie jest przedstawić w postaci tablicy sprawdzeń, którą przedstawiono w postaci (tab. 2). Tablica sprawdzeń (tab. 2) zawiera „i” wierszy, a w wydzielonej części (2×j) kolumn, tablicę sprawdzeń wypełnia się następująco:

– na przecięciu kolumny odpowiadającej stanowi niezdatności  $\varepsilon(e_j) = 0$  elementu  $e_j$  i wiersza odpowiadającego sprawdzeniu  $d_i$ , wpisać należy wynik tego sprawdzenia, tzn.

$$(\varepsilon(e_j) = 0, d_i) = \begin{cases} D_i = 0, & \text{gdy } e_j < d_i \\ D_i = 2, & \text{gdy } e_j \geq d_i \end{cases} \quad (4)$$

– na przecięciu kolumny odpowiadającej stanowi niepełnej zdatności  $\varepsilon(e_j) = 1$  elementu  $e_j$  i wiersza odpowiadającego sprawdzeniu  $d_i$ , wpisać należy wynik tego sprawdzenia, tzn.

$$(\varepsilon(e_j) = 1, d_i) = \begin{cases} D_i = 1, & \text{gdy } e_j < d_i \\ D_i = 2, & \text{gdy } e_j \geq d_i \end{cases} \quad (5)$$

gdzie:  $e_j < d_i$  – element  $e_j$  objęty sprawdzeniem  $d_i$ ;  $e_j \geq d_i$  – element  $e_j$  nie objęty sprawdzeniem  $d_i$ . przy czym

$$\begin{aligned} (D_i(\varepsilon(e_j) = 0) = 0) &\equiv D_i^0 \\ (D_i(\varepsilon(e_j) = 1) = 1) &\equiv D_i^1 \\ (D_i(\varepsilon(e_j) = 2) = 2) &\equiv D_i^2 \end{aligned} \quad (6)$$

Zestawienie uzyskanych wyników z realizacji zależności (6) w postaci tablicowej wyznaczyło (tab. 2).

Zlokalizowanie wszystkich niezdatności lub niepełnych zdatności na poziomie  $\Delta_q$ , gdzie:  $q = \overline{1, Q}$  świadczy o tym, że zbiór wszystkich elementów obiektu podzielony został na podzbiory tylko jednoelementowe, a wykonywanie dalszych sprawdzeń jest niecelowe, bowiem są to sprawdzenia nadmiarowe. Doświadczenie diagnostyczne zaprezentowane w pracach [15, 19, 28, 32, 44, 61, 94, 114, 115, 127] wykazuje, że permutacja sprawdzeń decyduje o tym, na którym poziomie decyzyjnym zostaną zlokalizowane wszystkie niezdatne, bądź nie w pełni zdatne elementy podstawowe diagnozowanego obiektu. Stąd istotne znaczenie, w procesie lokalizacji niezdatności posiada optymalizacja zbioru sprawdzeń w schemacie sprawdzeń. Polega ona na takim ustawieniu kolejności sprawdzeń na poszczególnych poziomach decyzyjnych, aby uzyskać zlokalizowanie wszystkich niezdatnych, bądź nie w pełni zdatnych elementów podstawowych przy możliwie najmniejszej liczbie niezbędnych sprawdzeń.

Tab. 2. Tablica sprawdzeń obiektu

Wynik $D_i$ sprawdzenia $d_i$			
$d_i$		$d_i$	$d_i$
$D_1(\varepsilon_1^0)$	...	$D_1(\varepsilon_1^0)$	$D_1(\varepsilon_1^0)$
⋮	...	⋮	⋮
$D_1(\varepsilon_j^0)$	...	$D_1(\varepsilon_j^0)$	$D_1(\varepsilon_j^0)$
⋮	...	⋮	⋮
$D_1(\varepsilon_j^0)$	...	$D_1(\varepsilon_j^0)$	$D_1(\varepsilon_j^0)$
<b><math>D_1(\varepsilon_{zd})</math></b>	...	<b><math>D_1(\varepsilon_{zd})</math></b>	<b><math>D_1(\varepsilon_{zd})</math></b>

gdzie:  $D_i(\varepsilon(e_j^0))$  – wynik sprawdzenia  $d_i$ ,  $j$ -tego elementu podstawowego

Jednak, aby można wybrać optymalną permutację sprawdzeń, należałoby drogą kolejnych prób wykonać wszystkie możliwe ustalenia sprawdzeń. Jest to jednak zadanie niemal niewykonalne, nawet dla obiektów o umiarkowanym stopniu złożoności strukturalnej.

Biorąc pod uwagę powyższe ustalenia, w pracy zaproponowano optymalizowanie zbioru sprawdzeń z głębokością wnikania w strukturę obiektu, aż do elementu podstawowego (modułu) za pomocą macierzy diagnostycznej, a schemat sprawdzeń wykorzystywano tylko w celu zobrazowania tego procesu, tylko dla niewielkiej liczby sprawdzeń 5-7.

## PODSUMOWANIE

W artykule zaprezentowano opis sposobu przygotowywania schematu postępowania opracowywanie algorytmów postępowania diagnosty w procesie lokalizacji niesprawności. Opracowanie dobrego wiarygodnego algorytmu zależy od wiedzy, doświadczenia wykonawcy w lokalizacji niesprawności w tej klasie urządzeń technicznych. Nauka postępowania diagnosty wyrażana między innymi schematem jego postępowania praktycznego w procesie szukania niezdatności w obiekcie technicznym należy do trudnych przedsięwzięć organizacyjno-technicznych i dydaktycznych.

## BIBLIOGRAFIA

1. Będkowski L., Dąbrowski T., Podstawy eksploatacji cz. 2. Wyd. WAT, Warszawa 2006, str. 187.
2. Duer S., Inteligentny system wspomagający proces odnawiania cech eksploatacyjnych w złożonych obiektach technicznych. Wydawnictwo Uczelniane Politechniki Koszalińskiej. Koszalin 2012, str. 242.
3. Duer S., Artificial neural network in the control process of object's states basis for organization of a servicing system of a technical objects. Neural Computing & Applications. 2012, Vol. 21, No. 1, pp. 153-160.
4. Duer S., Applications of an artificial intelligence for servicing of a technical object. Neural Computing & Applications. 2013, Vol. 22, No. 5 pp. 955-968.
5. Duer S., Zajkowski K., Płochą I., Duer R.: Training of an artificial neural network in the diagnostic system of a technical object. Neural Computing & Applications. 2013, Vol. 22, No. 7, pp. 1581-1590.
6. **Duer S., Wrzesień P., Duer R.: Projekt systemu ekspertowego wspomagającego użytkowanie elektrowni wiatrowej. Logistyka Nr 3/2015 s. 1116-1124.**
7. Duer S, Duer R, Mazuru S: Determination of the expert knowledge base on the basis of a functional and diagnostic analysis of a technical object. Non-conventional Technologies Review 2016, Romanian, June, 2016, pp. 23-29.
8. Duer S., Zajkowski K., Duer R.: zastosowanie logiki 4-wartościowej w procesie wnioskowania w systemach diagnostycznych. biuletyn wojskowej akademii technicznej, Vol. LXV, nr 2., 2016, str. 41-52. RG DOI: 10.5604/12345865.1210605.
9. Duer S., Zajkowski K., Duer R, Wrzesień P., Bernatowicz D.: Ekspertowa baza wiedzy wspomagająca diagnozowanie urządzeń farmy wiatrowej. Wydawnictwo Uczelniane Politechniki Koszalińskiej. Koszalin 2017, str. 163.
10. Dhillon B.S.: Applied Reliability and Quality, Fundamentals, Methods and Procedures. Springer – Verlag London Limited 2006, p. 186.
11. Madan M. Gupta, Liang Jin and Noriyasu H.: Static and Dynamic Neural Networks, From Fundamentals to Advanced Theory. John Wiley End Sons, Inc 2003, p. 718.

## APPLICATION "DECISION TREE" IN THE TRACK CHECKS DIAGNOSTIC

### Abstract

*The article presents the problem of determining diagnostic information for the purpose of testing a complex technical object. To this end, the essence of functional-diagnostic modeling has been described and described. Based on the developed model of the examined object diagnostic information has been determined, which consists of two components: a set of basic elements and a collection of diagnostic signals, which are worked out by the designated elements in the functional l groups of the object. The designated set of basic elements in the object is the base for determining the "decision tree" designating a possible set of states.*

### Autorzy:

Prof. nadzw. dr hab. inż. **Stanisław DUER** - Politechnika Koszalińska, Wydział Mechaniczny, Katedra Energetyki, ul. Raclawicka 15-17, 75-620 Koszalin, e-mail: [stanislaw.duer@tu.koszalin.pl](mailto:stanislaw.duer@tu.koszalin.pl)

Inż. **Paweł Wrzesień** - Vortex Energy Polska sp. z o.o., ul. Malczewskiego 26, 71-612 Szczecin, Poland, email: [nfo@rscgroup-online.pl](mailto:nfo@rscgroup-online.pl)

Mgr inż. **Dariusz Bernatowicz** - Politechnika Koszalińska, Wydział Elektroniki i Informatyki; 75-453 Koszalin, ul. Śniadeckich 2. E-mail: [dariusz.bernatowicz@tu.koszalin.pl](mailto:dariusz.bernatowicz@tu.koszalin.pl)

Inż. **Leszek Drawski** - Politechnika Koszalińska, Wydział Mechaniczny, Katedra Energetyki, ul. Raclawicka 15-17, 75-620 Koszalin, e-mail: [leszek.drawski@tu.koszalin.pl](mailto:leszek.drawski@tu.koszalin.pl)