



## Wnioskowanie diagnostyczne o stanie obiektu technicznego w logice $k$ -wartościowej

STANISŁAW DUER

Politechnika Koszalińska, Wydział Mechaniczny, Katedra Energetyki,  
75-620 Koszalin, ul. Raławicka 15-17, Stanisław.duer@tu.koszalin.pl

**Streszczenie.** W prezentowanym artykule przedstawiono problematykę opisującą teoretyczne podstawy wnioskowania (podejmowania decyzji) w logice wielowartościowej. Znaczna część artykułu dotyczy opisu podstaw opracowania logik  $k$ -wartościowych, gdzie:  $k = 2, 3, 4$ . W pracy przyjęto za podstawę przy opracowaniu logik wielowartościowych przedział zdatności dla logiki dwuwartościowej. W rozdziale trzecim przedstawiono przykład diagnozowania obiektu technicznego w logice czterowartościowej.

**Słowa kluczowe:** diagnostyka techniczna, systemy nadzoru i bezpieczeństwa, wnioskowanie diagnostyczne, logiki wielowartościowe, sztuczna inteligencja

DOI: 10.5604/01.3001.0009.9488

### Wstęp

W przypadku organizacji działań obsługowych ważne znaczenie ma rozpoznanie w obiekcie stanów uprzedzających bezpośrednio wystąpienie stanu niezdatności, jakim jest stan zdatności niepełnej [1-3]. Zastosowanie więc logiki dwuwartościowej na potrzeby organizacji procesu obsługiwanego jest niewystarczające [3-8]. Dlatego coraz szerzej zaczęto w diagnostyce stosować logikę trójwartościową opracowaną przez J. Łukaszewicza [4-7]. Rozwój diagnostyki w logice trójwartościowej jest zamieszczony w pracach Autora. Autor systematycznie doskonalił teorię oraz metodę diagnozowania obiektów technicznych w logice trójwartościowej. Stosowane w niej wnioskowanie diagnostyczne wyróżnia oprócz stanu zdatności „2” i niezdatności „0” stan zdatności częściowej (niepełnej zdatności) „1”.

W literaturze [3, 4-7, 18-20] wykazano, że wprowadzenie dodatkowego stanu pozwala na zwiększenie możliwej do uzyskania informacji diagnostycznej, co w kontekście działań obsługiwanego technicznego obiektu zwiększa możliwości organizacyjno-techniczne tego procesu. Pomimo że problematyka diagnozowania w logice trójwartościowej jest obecnie intensywnie rozwijana, to opracowane zagadnienia i reguły wnioskowania diagnostycznego nie w pełni rozwiązują problemy współczesnych obiektów technicznych. Ich duża złożoność i odpowiedzialność zadań wymaga dostarczenia użytkownikowi szybkiej i wiarygodnej informacji o stanie technicznym tych obiektów. Jednym ze sposobów przeciwdziałania powyższemu problemom jest wprowadzenie diagnostyki wielowartościowej, z większą liczbą stanów. Zastosowanie klasyfikacji wielostanowej zwiększa możliwości pozyskania informacji diagnostycznej, a w konsekwencji wiarygodności stanu technicznego badanego obiektu. Dodatkowym walorem przy stosowaniu ww. podejścia jest uzyskanie stosunkowo niskiego wzrostu kosztu obliczeniowego podczas rozszerzenia liczby rozróżnialnych stanów. Jednakże zastosowanie diagnostyki wielowartościowej wymaga wielu analiz techniczno-ekonomicznych, a także unifikacji zasad i reguł dla różnych klas obiektów technicznych.

## **1. Logiki $k$ -wartościowe — wnioskowanie w systemach diagnostycznych**

Problematyka wnioskowania jest istotnym problemem w zakresie doskonalenia systemów ze sztuczną inteligencją. W systemach tych ważnym celem w ich funkcjonowaniu jest podejmowanie decyzji. Wypracowanie decyzji w systemach inteligentnych, w tym szczególnie w inteligentnych systemach diagnostycznych, jest zawsze realizowane na bazie posiadanej informacji. Podstawą niepewności (nieostrości) wnioskowania w technicznych systemach inteligentnych jest głównie niedoskonałość wiedzy opisującej badaną rzeczywistość (procesy i zdarzenia techniczne itp.). W większości zastosowań informatyki do rozwiązywania oraz badania problemów technicznych stosuje się metody używane także w matematyce i naukach technicznych. Metody te opisują rzeczywistość (świat) za pomocą ściśle określonych (ostrych) i jednoznacznych pojęć (definicji i twierdzeń). Stąd metody wnioskowania wynikające z zastosowania powyższego aparatu pojęciowego w badaniach są ściśle określone i opisane z wykorzystaniem wnioskowania w logikach wielowartościowych. Problematyka wnioskowania w systemach ze sztuczną inteligencją i innych systemach (hybrydowych) podejmowania decyzji podlega ciągłemu doskonaleniu i rozwojowi. Kryteria opisujące charakter i sposób wypracowania decyzji muszą być sformalizowane, najczęściej w postaci reguł. Baza reguł wnioskujących będąca podstawą wypracowania decyzji musi obejmować wszystkie możliwe sytuacje (decyzje) warunkujące wyznaczenie skończonego zbioru możliwych decyzji [3, 4-8].

Zupełnie inaczej problem ten wygląda, gdy wykorzystywane są metody informatyki do badania i poznawania rzeczywistości na bazie informacji niepewnych (nieostrych). W takim przypadku zachodzi konieczność tworzenia sformalizowanego modelu pojęciowego, w którym nieostre pojęcia (wiedza niepewna czy też niejednoznaczna) będą reprezentowane w ściśle określony sposób. Z problemami niejednoznaczności (niepewności) są związane dwa zagadnienia. Pierwsze z nich dotyczy niejednoznaczności pojęć stosowanych w badaniach rzeczywistości. Drugie natomiast dotyczy stopnia szczegółowości (dokładności) formułowanych pojęć, które powinny być właściwe w stosunku do klasy (rodzaju) badanych problemów i rzeczywistości.

Podstawą wnioskowania na bazie posiadanej informacji  $\{A\}$  jest określenie, które z elementów tego zbioru chcemy reprezentować w bazie wiedzy. Można przyporządkować wtedy zbiór zgodnie z zależnością:

$$A = \{x \in U\}, \quad (1)$$

gdzie:  $x$  — zmienna mająca cechy zgodne z definicją pojęcia  $A$ .

Podstawa wnioskowania przy prostym jej opisie powinna rozstrzygnąć, czy dla dowolnego elementu (decyzji)  $y \in U$  spełnia ona warunki definicji pojęcia  $\{A\}$ . Powinno się dysponować funkcją przynależności do zbioru  $\{A\}$ , którą oznaczono jako  $f(A)$ . W przypadku pojęcia pewnego (ostrego), czyli takiego, dla którego istnieją cechy pozwalające zawsze odróżnić elementy (decyzje) objęte tym pojęciem od elementów (decyzji) nim nieobjętych. Funkcja przynależności jest równa funkcji charakterystycznej  $f(A)$  zbioru  $\{A\}$  zdefiniowanej w postaci zależności:

$$f(A) = \begin{cases} 0, & x \in A \\ 1, & x \notin A \end{cases}. \quad (2)$$

W przypadku gdy mamy do czynienia z pojęciami niepewnymi (nieostrymi), które nie są określone w sposób jednoznaczny i precyzyjny, funkcja przynależności nie jest adekwatnym narzędziem formalnym do określenia przynależności danego elementu (decyzji) do zbioru. Podejście to było podstawą do sformułowania przez (A. Zadeh, 1965) *teorii zbiorów rozmytych*. W teorii zbiorów rozmytych funkcja przynależności jest określona dla zbioru  $\{A\}$  w następujący sposób:

$$f(A): U \rightarrow [1, 0], \quad (3)$$

gdzie:  $f(A)$  — funkcja przynależności;

„1” — oznacza decyzję pozytywną (dobry);

„0” — oznacza decyzję negatywną (zły).

Funkcja ta przypisuje elementowi  $x \in U$  wartości ze zbioru  $\{1, 0\}$ .

W zależności od typu, charakteru oraz przeznaczenia systemu inteligentnego decyzje mogą być typu prostego wykorzystującego logikę dwuwartościową. Dla logiki dwuwartościowej funkcja przynależności opisująca stany obiektów technicznych jest określona dla zbioru  $\{A\}$  stanów obiektu w następujący sposób:

$$f(A^2) \rightarrow [1, 0], \quad (4)$$

gdzie:  $f(A^2)$  — funkcja przynależności dla logiki dwuwartościowej;  
 „1” — oznacza stan zdatności obiektu technicznego;  
 „0” — oznacza stan niezdatności.

W diagnostyce obiektów technicznych logika dwuwartościowa może być wystarczająca w sytuacji, gdy tylko chcemy ocenić stan zdatności obiektu, stan „1”. W pewnych sytuacjach takie decyzje diagnostyczne mogą być niewystarczające. Szczególnie gdy diagnostyka techniczna wypracowuje decyzje diagnostyczne, na bazie których realizuje się obsługiwanie (odnawianie) obiektu technicznego, prace autora [4-7, 13-17]. W praktyce diagnostycznej obiektów technicznych dąży się, żeby decyzje były przedstawiane w szerszym ich przedziale, jako zbiór wieloelementowych decyzji. Podstawą budowy takiego zbioru decyzji jest logika trójwartościowa. Na tej zasadzie rozwinęła się logika trójwartościowa, której twórcą jest polski matematyk J. Łukasiewicz, 1920. Przyjęte założenia logiki trójwartościowej zostały rozwinięte przez Autora w pracach [6]. Dla logiki trójwartościowej funkcja przynależności opisuje stany obiektów technicznych dla zbioru  $\{A\}$  stanów obiektu w następujący sposób:

$$f(A^3) \rightarrow [2, 1, 0], \quad (5)$$

gdzie:  $f(A^3)$  — funkcja przynależności dla logiki trójwartościowej;  
 „2” — stan zdatności obiektu technicznego;  
 „1” — stan niepełnej zdatności (zdatności częściowej), „0” — oznacza stan niezdatności.

Dla logiki trójwartościowej znanym jej zastosowaniem było zinterpretowanie w niej stanu „1” — stanu zdatności częściowej.

**Definicja stanu zdatności częściowej:** stan zdatności częściowej jest takim stanem w zbiorze stanów obiektu, w którym obiekt zachowuje zdolności do wykonywania częściowo swoich zadań. Stan ten występuje bezpośrednio przed wystąpieniem stanu niezdatności.

Zastosowanie logiki trójwartościowej w diagnostyce obiektów technicznych przyniosło spektakularne wyniki. Szczególnie w aspekcie wykorzystania diagnoz w logice trójwartościowej w organizacji procesu odnawiania obiektów technicznych. Znaczące w tym względzie są także opracowania Autora [4-9]. Opracował on

i rozwinął podstawy teoretyczne i praktyczne dotyczące organizacji inteligentnych systemów obsługi obiektów technicznych. Autor w swoich pracach przedstawił praktyczne wykorzystanie diagnoz wypracowanych w logice trójwartościowej na potrzeby organizacji procesu odnawiania obiektów technicznych. Można przypuszczać, że zastosowanie także logiki czterowartościowej w diagnostyce technicznej obiektów technicznych przyniesie efekty większe niż przy wnioskowaniu w logice trójwartościowej.

Dla logiki czterowartościowej funkcja przynależności określona dla zbioru stanów obiektu  $\{A\}$  jest opisana w następujący sposób:

$$f(A^4) \rightarrow [3, 2, 1, 0], \quad (6)$$

gdzie:  $f(A^4)$  — funkcja przynależności dla logiki czterowartościowej;  
„3” — stan zdatności obiektu technicznego;  
„2” — stan zdatności częściowej;  
„1” — stan zdatności krytycznej;  
„0” — oznacza stan niezdatności.

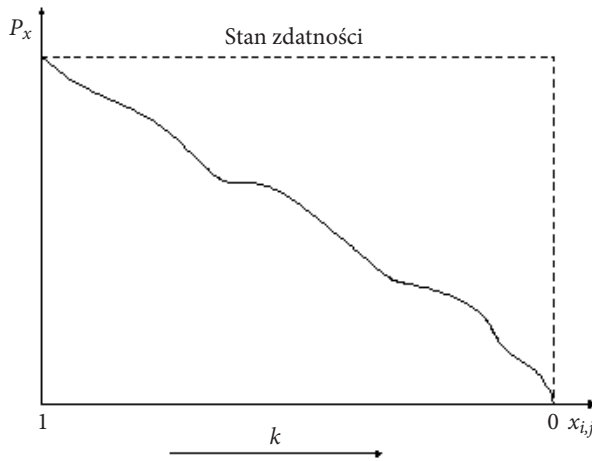
Zastosowanie logiki czterowartościowej wnosi istotny stan w diagnostyce obiektów technicznych, którym jest stan „1” — stan zdatności krytycznej.

**Definicja stanu zdatności krytycznej:** stan zdatności krytycznej jest takim stanem w zbiorze stanów obiektu technicznego, w którym obiekt zachowuje zdolności do wykonywania swoich zadań w ograniczonym zakresie. Stan ten jest stanem bezpośrednio poprzedzającym wystąpienie stanu niezdatności w obiekcie.

## 2. Praktyczne aspekty interpretowania stanów obiektu technicznego w logikach $k$ -wartościowych

Problematyka diagnozowania obiektów technicznych w logikach  $k$ -wielowartościowych przy ( $k > 3$ ) jest ciągle rozwijana. W ostatnich latach intensywnie rozwijała się diagnostyka techniczna logika trójwartościowa, szczególnie w zakresie stosowania jej w inteligentnych systemach obsługowych. Dla rozwoju logiki trójwartościowej ( $k = 3$ ), gdzie identyfikowanymi stanami jest zbiór stanów  $\{2, 1, 0\}$ , znaczące są także prace Autora [4-9]. W diagnostyce obiektów technicznych i procesów przemysłowych i technologicznych logika trójwartościowa przyniosła znaczące efekty informacyjne. Znamiennym osiągnięciem logiki trójwartościowej było wyznaczenie (określenie) stanu niepełnej zdatności, stan „1”. Możliwość rozpoznania stanu niepełnej zdatności stała się podstawą intensywnego rozwoju nowoczesnych inteligentnych systemów wspomagających organizację systemu obsługi obiektów technicznych [1-6, 20]. Można przypuszczać, że zupełnie nowe doświadczenia w eksploatacji

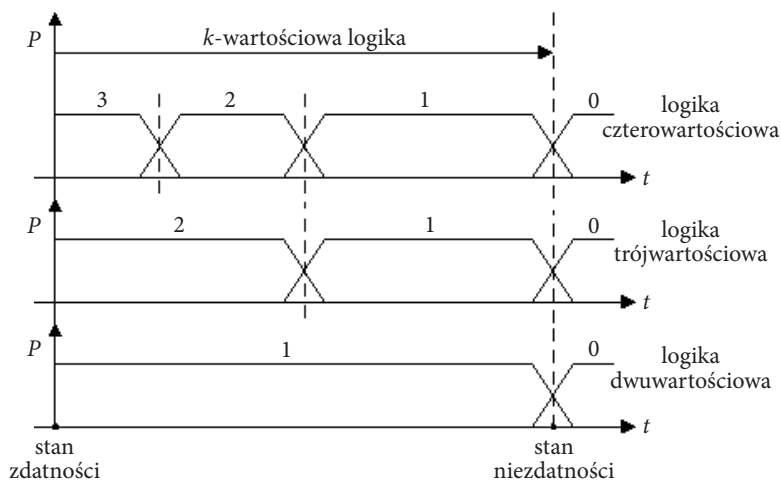
obiektów technicznych przyniosą logiki  $k$ -wielowartościowe. W literaturze obecnie brakuje opracowań dotyczących zastosowania logik  $k$ -wartościowych dla ( $k > 3$ ) w diagnostyce technicznej. Jeżeli znamiennej w logice trójwartościowej ( $k = 3$ ) jest **stan niepełnej zdatności, stan „1”**, to w logice czterowartościowej ( $k = 4$ ), stanami jest zbiór stanów  $\{3, 2, 1, 0\}$ . W tej logice szczególnym stanem jest **stan zdatności krytycznej, stan „1”**. W stanie zdatności krytycznej w logice czterowartościowej mogą się znajdować te  $j$ -te elementy konstrukcyjne obiektu, których niezawodność w tym czasie jest zbyt niska. Elementy wewnętrzne (konstrukcyjno-funkcjonalne) o stanie zdatności krytycznej funkcjonują, są użytkowane tuż przed ich uszkodzeniem nagłym (krytycznym).



Rys. 1. Schemat podstaw diagnozowania na podstawie przedziału zmiany mierzonej cechy sygnału diagnostycznego  $\{X_{i,j}\}$ , gdzie:  $P_x$  —  $x$ -ty parametr cechy sygnału diagnostycznego; 1 — stan zdatności; 0 — stan niezdatności

Dlatego w diagnostyce technicznej problematyka rozpoznania stanu zdatności krytycznej „1” w logice ( $k = 4$ ) nabiera szczególnego znaczenia — ze względu na fakt rozpoznania elementów konstrukcyjnych obiektu, które znajdują się w tym stanie, a zatem znacząco zaniżają efektywność użytkowania obiektu. Znacząc proces niezawodności tej klasy elementów, można z dużym prawdopodobieństwem zakładać, że w bardzo krótkim czasie elementy te doznają awarii, z intensywnością uszkodzeń  $\lambda$  znajdują się w stanie niezdatności, stan „0” (stan niezdatności — awaria). Każda z możliwych logik wnioskowania — zarówno podstawowa (dwuwartościowa), jak i wielowartościowe: trój- i czterowartościowe, w znaczący sposób udokładnia (opisuje) badaną rzeczywistość. W diagnostyce technicznej systematycznie dąży się do stosowania takiej wartościowości opisującej stan badanego obiektu, która będzie najlepiej (najbardziej wiarygodnie) identyfikowała stan obiektu.

Schemat klasyfikowania stanów obiektu technicznego w logikach  $k$ -wartościowych przedstawiono na rysunku 1. Z analizy tego schematu wynika, że podstawą podziału  $k$ -klas wnioskujących jest przedział stanu zdatności — „1”, który jest wyznaczony dla logiki 2-wartościowej. Istota wnioskowania w logikach  $k$ -wartościowych polega zatem na specyficznym podziale tego przedziału stanu zdatności „1”. Stąd dla logiki 3-wartościowej przedział ten jest podzielony na dwa podprzedziały: zdatności — „2” oraz niepełnej zdatności — „1”. Przedział stanu niezdatności jest adekwatny dla wszystkich  $k$ -klas wnioskowania. Dla logiki 4-wartościowej przedział zdatności stanu — „1” jest podzielony na trzy podprzedziały: „3” — stan zdatności obiektu technicznego, „2” — stan zdatności częściowej oraz „1” — stan zdatności krytycznej. Można zatem stwierdzić, że zwiększanie  $k$ -tych klas wnioskowania w logikach  $k$ -wartościowych to bardziej dokładne wyznaczanie struktur  $k$ -klas wnioskowania diagnostycznego, czyli większe wnikanie w strukturę przedziału zdatności stanu — „1”. Każdy proces tworzenia nowej  $k$ -tej klasy wnioskowania w logice  $k$ -wartościowej przynosi znaczący uzysk wyznaczonej (uzyskanej) informacji diagnostycznej. Dla logiki takim uzyskiem informacyjnym jest podzbiór stanów niepełnej zdatności — stan „1”. Natomiast dla wnioskowania w logice 4-wartościowej takim uzyskiem informacyjnym są podzbiory stanów: „2” — stan zdatności częściowej oraz „1” — stan zdatności krytycznej.



Rys. 2. Schemat wnioskowania diagnostycznego w logikach  $k$ -wartościowych

Brakuje w literaturze opracowań dotyczących pozyskiwania dodatkowej informacji diagnostycznej na bazie wyznaczonej bieżącej informacji diagnostycznej. W swoich pracach Autor wielokrotnie wskazywał, że znacząca dla organizacji systemu obsługiwanego technicznego jest informacja diagnostyczna wyznaczona w logice 3-wartościowej, np. w stosunku do logiki 2-wartościowej [4-9]. Ten przyrost

dotychczasowej informacji diagnostycznej jest szczególnie widoczny, bardziej praktycznie niż teoretycznie, właśnie w przypadku działań obsługowych z obiektem technicznym, co zaprezentowano między innymi w pracy [7].

Na potrzeby tego artykułu zaproponowano zależność, która będzie mogła służyć do wyznaczania dodatkowego uzysku (przyrostu) informacji diagnostycznej z informacji wyznaczonej w procesie diagnozowania, a także w celu dalszego badania w postaci:

$$f(P_{inf\ diag}) = \frac{L_{st\ dod}}{L_{st\ cal}} \cdot 100\%, \quad (7)$$

gdzie:  $f(P_{inf\ diag})$  — funkcja przyrostu dodatkowej informacji diagnostycznej;  
 $L_{st\ dod}$  — liczba stanów dodatkowych (liczba stanów poza stanami zdatności i niezdatności) wyznaczonych w procesie diagnostycznym;  
 $L_{st\ cal}$  — całkowita liczba stanów wyznaczonych w procesie diagnostycznym.

Zależność (7) opisująca przyrost dodatkowej informacji diagnostycznej nie była jeszcze prezentowana w literaturze.

### 3. Klasyfikowanie stanów obiektu technicznego w logice czterowartościowej

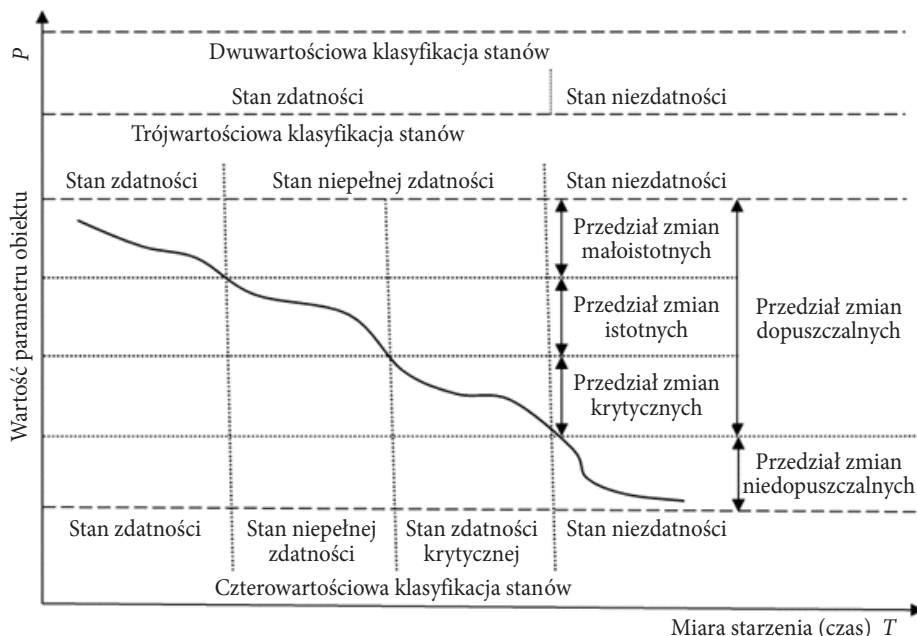
Wprowadzenie w diagnostyce technicznej czterowartościowej oceny stanów prowadzi do realizacji procesu diagnozowania, w którym przyporządkowujemy rzeczywistemu stanowi obiektu jeden stan z następującego zbioru stanów [10, 11, 15, 16]:

- {3} — zdatności, w których obiekt posiada pełną zdolność do wykonywania swoich zadań zgodnie z przeznaczeniem,
- {2} — niepełnej zdatności, w których obiekt posiada zdolność do wykonywania zadań w ograniczonym zakresie. Jest to stan, w którym należy rozpocząć wykonywanie czynności profilaktycznych odnawiających obiekt,
- {1} — krytycznej zdatności, w których obiekt posiada zdolność do wykonywania zadań w bardzo ograniczonym zakresie. Jest to stan poprzedzający uszkodzenie i wymagający podjęcia czynności profilaktycznych odnawiających obiekt,
- {0} — niezdatności, w których obiekt utracił zasób funkcjonowania i nie jest zdolny do wykonywania zadań zgodnie z przeznaczeniem.

Logika czterowartościowa, podobnie jak logika trójwartościowa, jest szczególnym przypadkiem logiki  $k$ -wartościowej. Charakteryzuje się tym, że jej funkcja i argumenty mogą przyjmować jedną z czterech wartości określanych przez symbole {0, 1, 2, 3}. Podobnie jak dla logiki dwu- i trójwartościowej, obszar określoności



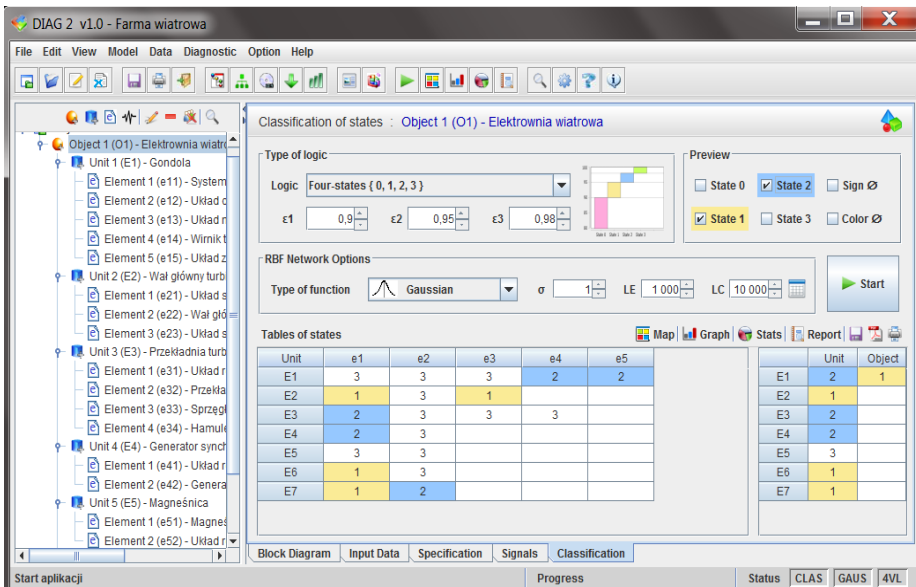
dowolnej funkcji czterowartościowej jest ograniczony ( $4^n$  podzbiorów wartości argumentów). W tym celu zaprezentowano schemat klasyfikowania stanów w logice czterowartościowej i porównania jej do logiki dwu- i trójwartościowej (rys. 3). Ważkimi częściami w tym schemacie są następujące przedziały klasyfikowania dla logiki czterowartościowej: stanu zdatności obiektu technicznego, stanu zdatności częściowej, stanu zdatności krytycznej, stanu niezdatności.



Rys. 3. Schemat klasyfikacji stanów obiektu w logice czterowartościowej w stosunku do klasyfikacji w logice dwu- i trójwartościowej

Wykorzystanie programu (DIAG 2) w procesie diagnozowania wymaga przygotowania w odpowiedniej postaci wejściowej informacji diagnostycznej. Dlatego elementy podstawowe — moduły znajdujące się w zespołach obiektu — muszą być „adresowane” w następujący sposób ( $e_{i,j}$ ), gdzie:  $j$  — jest numerem elementu w danym zespole, a ( $i$ ) jest  $i$ -tym numerem tego zespołu obiektu. Wprowadzenie danych wejściowych do programu może się odbywać w sposób ręczny z klawiatury lub automatycznie w sposób bezpośredni z systemu pomiarowego (karty pomiarowej). Program jest tak opracowany, że można w nim w dowolnym czasie dokonywać korekty wymiarów struktury badanego obiektu, w tym zmiany liczby zespołów czy też zmiany liczby elementów podstawowych (modułów) w danym zespole (rys. 4).

Na rysunku 4 przedstawiono końcową postać informacji diagnostycznej w logice 4-wartościowej „Tablice stanów obiektu”. Końcowa postać informacji diagnostycznej opisuje bieżące stany badanego obiektu. Stan obiektu (rys. 4) przedstawiono



Rys. 4. Postać wynikowa programu (DIAG 2) „Tablica stanów” dla badanej elektrowni w farmie wiatrowej, gdzie: {3} — zbiór stanów zdatności; {2} — zbiór stanów niepełnej zdatności; {1} — zbiór stanów krytycznej zdatności; {0} — zbiór stanów niezdatności

w postaci stanów elementów znajdujących się w strukturze wewnętrznej obiektu, w której wyróżniono 20  $j$ -tych elementów podstawowych (modułów) znajdujących się w  $i$ -tych zespołach funkcjonalnych. Z analizy rysunku 4 wynika, że elementy podstawowe z podzbioru  $\{e_{1,1}; e_{1,2}; e_{1,3}; e_{2,2}; e_{3,2}; e_{3,3}; e_{3,4}; e_{4,2}; e_{5,1}; e_{5,2}; e_{6,2}\}$  posiadają stan „3” — zdatności. Procentowy udział  $j$ -tych elementów w  $i$ -tych zespołach obiektu o stanie zdatności w strukturze badanego obiektu stanowi 55%. Natomiast następujące badane elementy podstawowe z podzbioru  $\{e_{1,4}; e_{1,5}; e_{3,1}; e_{4,1}; e_{7,2}\}$  posiadają stan „2” — niepełnej zdatności. Procentowy udział tych  $j$ -tych elementów o stanie niepełnej zdatności w strukturze badanego obiektu to 25%. Pozostały badany podzbiór elementów podstawowych ze zbioru  $\{e_{2,1}; e_{2,3}; e_{6,1}; e_{7,1}\}$  posiada stan „1” — krytycznej zdatności. Procentowy udział tych  $j$ -tych elementów o stanie krytycznej zdatności w strukturze badanego obiektu stanowi 20%. W badanym obiekcie nie ma elementów o stanie „0” — niezdatności.

Przeprowadzone badanie stanu obiektu technicznego z diagnozowaniem w logice 4-wartościowej umożliwia także ocenę przyrostu informacji diagnostycznej na podstawie zależności (7) dla tej stosowanej logiki. Struktura wewnętrzna badanego obiektu składa się z 20  $j$ -tych podstawowych elementów i jest to wielkość zbioru wszystkich stanów w obiekcie. W badaniu (rys. 4) wyznaczono dodatkowo 9 stanów poza podstawowymi stanami: zdatności i niezdatności. Stąd na podstawie zależności (7) wyznaczony przyrost dodatkowej informacji diagnostycznej wynosi 45%.

## 4. Podsumowanie

W diagnostyce technicznej ważny staje się problem polegający na wyznaczeniu optymalnego czasu zidentyfikowania (rozpoznania) stanu tych elementów konstrukcyjnych (funkcjonalnych) obiektu, które znajdują się lub będą się znajdować (w niedługiej przyszłości) w stanie zdatności krytycznej. Ważki staje się zatem problem rozpoznania stanów (stanów niezawodnościowych), które występują tuż przed ich uszkodzeniem (awarią), ponieważ nierozpoznanie tych stanów spowoduje w dalszym czasie użytkowania obiektu jego uszkodzenie, przejście obiektu do stanu niezdatności. Zaistniały stan niezdatności w obiekcie technicznym jest kosztowny do usunięcia, wymaga realizacji czasochłonnego procesu lokalizacji uszkodzeń. Proces lokalizacji uszkodzeń w obiekcie wymaga innego podejścia do problemu diagnozowania obiektów technicznych. Tym podejściem jest proces lokalizacji uszkodzeń w obiekcie niezdatnym. Dla stanu niezdatności obiektu istotne są koszty związane z czasem nieefektywnego użytkowania obiektu. W praktyce oznacza to, że stosując logikę czterowartościową, będzie możliwe zminimalizowanie prawdopodobieństwa wystąpienia stanu niezdatności — uszkodzenia się obiektu technicznego. Można zatem zwiększać efektywność użytkowania (eksploatacji) obiektu technicznego oraz optymalizować organizację jego systemu odnawiania.

Praca finansowana z Projektu Badawczego Statutowego Politechniki Koszalińskiej nr 504.02.12.

Artykuł wpłynął do redakcji 12.01.2017 r. Zweryfikowaną wersję po recenzjach otrzymano 25.01.2017 r.

### LITERATURA

- [1] BĘDKOWSKI L., DĄBROWSKI T., *Podstawy eksploatacji*, cz. II. *Podstawy niezawodności eksploatacyjnej*, Wyd. WAT, Warszawa, 2006, s. 187.
- [2] BĘDKOWSKI L., *Elementy ogólnej teorii diagnostyki technicznej*, WAT, Warszawa, 1981.
- [3] BOLC L., *Wnioskowanie w logikach nieklasycznych. Automatykacja wnioskowania*, AOW, Warszawa, 1998.
- [4] DUER S., *Artificial Neural Network-based technique for operation process control of a technical object*, Defence Science Journal, DESIDOC, vol. 59, no. 3, May 2009, pp. 305-313.
- [5] 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.
- [6] DUER S., *Inteligentny system wspomagający proces odnawiania cech eksploatacyjnych w złożonych obiektach technicznych*, Wydawnictwo Politechniki Koszalińskiej, Koszalin, 2012, s. 242.
- [7] DUER S., *Applications of an artificial intelligence for servicing of a technical object*, Neural Computing & Applications, 2013, vol. 22, no. 5, pp. 955-968.
- [8] DUER S., ZAJKOWSKI K., PŁOCHA 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.

- [9] DUER S., ZAJKOWSKI K., DUER R., BERNATOWICZ B., WRZESIEŃ P., *Inteligentny system nadzoru i bezpieczeństwa dla farmy wiatrowej*, Logistyka, 6, 2014, s. 3312-3321.
- [10] DUER S., BERNATOWICZ D., DUER R., *Wykorzystanie logiki czterowartościowej w komputerowym programie diagnostycznym DIAG 2*, Logistyka, 3, 2015, s. 1008-1116.
- [11] DUER S., BERNATOWICZ D., DUER R., *Metoda wnioskowania w logice wielowartościowej w programie diagnostycznym DIAG 2*, Logistyka, 3, 2015, s. 1100-1108.
- [12] DUER S., ZAJKOWSKI K., SOKOŁOWSKI S., PÁLKOVÁ Z., LUKÁČ O., *Przygotowanie informacji diagnostycznej o badanym obiekcie technicznym na potrzeby procesu diagnozowania w logice wielowartościowej*, Logistyka, 3, 2015, s. 1132-1140.
- [13] DUER S., ZAJKOWSKI K., WRZESIEŃ P., DUER R., *Diagnostyka użytkownika urządzeń elektrowni wiatrowej*, Logistyka, 3, 2015, s. 1140-1148.
- [14] DUER S., WRZESIEŃ P., DUER R., *Projekt systemu ekspertowego wspomagającego użytkownika elektrowni wiatrowej*, Logistyka, 3, 2015, s. 1116-1124.
- [15] DUER S., ZAJKOWSKI K., PÁLKOVÁ Z., LUKÁČ O., POKORÁDI L., DUER R., BERNATOWICZ D., *Wnioskowanie w logice 4-wartościowej w inteligentnych systemach diagnostycznych i bezpieczeństwa*, XXX Konferencja Międzynarodowa „Ekomilitaris 2016”, 13-16 września 2016, Zakopane, s. 112-116.
- [16] DUER S., ZAJKOWSKI K., DUER R., *Zastosowanie logiki 4-wartościowej w procesie wnioskowania w systemach diagnostycznych*, Biuletyn Wojskowej Akademii Technicznej, vol. 65, nr 2, 2016, s. 41-52. RG DOI: 10.5604/12345865.1210605.
- [17] 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*, 18th Edition, International Conference of Nonconventional Technologies, (ICNCT) 2016, Chisinau, Republic of Moldova, 30.06-1.07.2016. Nonconventional Technologies Review, 2016 Romanian Association of Nonconventional Technologies, Romanian, 6, June 2016, vol. 20, nr 2, pp. 23-29.
- [18] FLĄSIŃSKI M., *Wstęp do teorii sztucznej inteligencji*, Wyd. PWN, Warszawa, 2011.
- [19] HOJJAT A., SHIH-LIN H., *Machine learning, neural networks, genetic algorithms and fuzzy systems*, John Wiley and Sons, Inc. 1995.
- [20] POKORÁDI L., DUER S., *Investigation of maintenance process with Markov matrix*, Proceedings of the 4th International Scientific Conference on Advances in Mechanical Engineering, 13-15 October 2016, Debrecen, Hungary, pp. 402-407.

## S. DUER

### Inference diagnostic state of the technical object in logic $k$ -valuable

**Abstract.** The article presents the problem of describing the theoretical basis for inference (decision-making) in the multi-valued logic. A significant part of the article concerns the description of the basis for the development of the logic  $k$ -value, where  $k = 2, 3, 4$ . In the work, as a basis for the development of multivalent logics, the interval suitability for two-valued logic has been taken. The third chapter is an example of diagnosing the technical object in the logic of 4-valuable.

**Keywords:** technical diagnostics, diagnostic reasoning, multivalent logic, artificial intelligence

**DOI:** 10.5604/01.3001.0009.9488