



Informacja diagnostyczna z obiektu technicznego wykorzystana do tworzenia ekspertowej bazy wiedzy

RADOSŁAW DUER¹, STANISŁAW DUER²

¹Politechnika Koszalińska, Wydział Elektroniki i Informatyki, 75-453 Koszalin, ul. Śniadeckich 2,

²Politechnika Koszalińska, Wydział Mechaniczny, 75-620 Koszalin, ul. Raclawicka 15-17,
rduer@wp.pl, stanislaw.duer@tu.koszalin.p

Streszczenie. W artykule zaprezentowano problematykę wyznaczania informacji diagnostycznej na potrzeby badania złożonego obiektu technicznego. W tym celu przedstawiono i opisano istotę opracowania modelu funkcjonalno-diagnostycznego na przykładzie urządzeń elektrowni wiatrowej. Na podstawie opracowanego modelu 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. Ważnym aspektem zawartym w tym artykule jest przedstawienie problematyki wyznaczania zbioru wzorcowych sygnałów diagnostycznych. Znajomość zbioru sygnałów diagnostycznych i ich wzorcowych sygnałów jest bazą do wyznaczenia przedziału zmiany wartości sygnałów diagnostycznych, które są podstawą diagnozowania obiektu z wykorzystaniem inteligentnego systemu diagnostycznego (DIAG 2) lub przy użyciu baz wiedzy dla systemów ekspertowych.

Słowa kluczowe: diagnostyka techniczna, wnioskowanie diagnostyczne, logiki wielowartościowe, sztuczna inteligencja

DOI: 10.5604/01.3001.0010.1892

Wstęp

W procesie rozwoju nowoczesnych systemów ekspertowych (obsługowych) znaczące (podstawowe) były prace B. Buchannan, E. Shortliffe, F. Hayer-Roth, D. Waterman, D. Lenat i innych [3, 4, 8, 21-29, 30], w których zawarto podstawy teoretyczne i matematyczne funkcjonowania sztucznej inteligencji oraz systemów ekspertowych. Autorzy dobrze przedstawili i scharakteryzowali różnicę między tymi

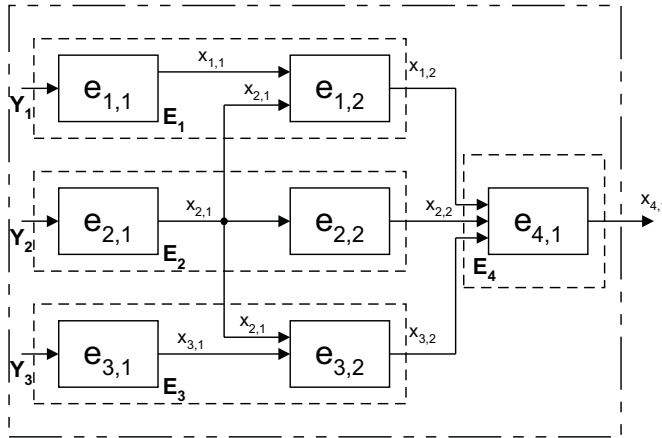
dziedzinami wiedzy. Wymienione powyżej opracowania są podstawą w zakresie organizacji systemów inteligentnych (doradczych). Prace te wspomagają budowanie zbioru reguł wnioskujących, tworzenie metod reprezentacji wiedzy, jej gromadzenia oraz sposobów analizy. W znacznym stopniu wspomagają rozważania praktyczne tych problemów przy tworzeniu wiedzy ekspertowej, w tym w zastosowaniu jej w diagnostyce lub podczas obsługi urządzeń technicznych. Również istotne dla tej problematyki są opracowania autorów, którzy w pracach [3-20] zawarli podstawy matematyczne w zakresie projektowania systemów ekspertowych, w tym: zasady tworzenia ekspertowej bazy wiedzy, tworzenie reguł wnioskujących oraz sposoby ich analizy (przeglądu i sortowania).

Obecnie trwają prace badawcze, a także są rozwiązywane różne aspekty w zakresie pozyskiwania, gromadzenia oraz przetwarzania wiedzy, które dotyczą diagnostycznych zbiorów informacji wykorzystywanych przez człowieka-specjalistę w bazie wiedzy przedstawianej w języku komputerowym w celu wykorzystania jej w inteligentnych systemach ekspertowych. Większość z tych prac badawczych dotyczy opisu współpracy pomiędzy człowiekiem a komputerem i odwrotnie. Takie działania występują w systemach inteligentnych, w zastosowaniach w systemach odnawiających cechy obiektów technicznych. Ważnym kierunkiem badań dotyczących organizacji inteligentnych systemów obsługiwanie jest doskonalenie metod przedstawiania i zestawiania baz wiedzy specjalistycznej o obiekcie badania (procesie technologicznym) przez człowieka-eksperta. W początkowych opracowaniach wspierających proces obsługiwanie obiektów dominowały opracowania o charakterze tworzenia i opisu metod przekształcania wiedzy specjalisty-eksperta na wiedzę w języku komputerowym. Szczególne miejsce ze względu na organizację procesu obsługiwanie obiektów technicznych posiadają zbiory informacji opracowane na bazie modeli lub innych struktur funkcjonalno-diagnostycznych badanych obiektów.

1. Model funkcjonalno-diagnostyczny obiektu technicznego

Istotnym elementem w przedstawionym modelu inteligentnego systemu wspomagającego obsługiwanie obiektu technicznego jest urządzenie, system techniczny. Model obiektu technicznego na potrzeby organizacji procesu jego diagnozowania oraz obsługiwanie jest najczęściej przedstawiany w postaci modelu funkcjonalno-diagnostycznego. Przyjęty do badań obiekt techniczny o strukturze wewnętrznej przedstawionej na rysunku 1 jest obiektem złożonym dowolnej klasy. Istnieje jednak warunek, że w obiekcie w wyznaczonych punktach pomiarowych jego struktury wewnętrznej występują sygnały pomiarowe — diagnostyczne (sygnały cyfrowe lub fizyczne), którym przypisane są cechy sygnałów diagnostycznych [5-11, 13, 14, 15, 18, 22]. Opracowując model obiektu, dokonano podziału jego struktury wewnętrznej

na cztery poziomy struktury obsługowej: *poziom pierwszy*: obiekt $\{O\}$, *poziom drugi*: zespoły funkcjonalne $\{E_i\}$ w obiekcie, *poziom trzeci*: podzespoły $\{e_j\}$ w każdym zespole $\{E_i\}$, *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: $X_{i,j}$ — wyjściowy sygnał diagnostyczny na wyjściu j -tego elementu funkcjonalnego w i -tym zespole; Y_{mk} — 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). Regułę tę przedstawiono w postaci zależności:

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

gdzie: R_e — reguła diagnostyczna dokonująca podziału struktury wewnętrznej z określoną głębokością wnikania w daną strukturę wewnętrzną obiektu (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 jest ten element, na wyjściu którego występują 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:

$$R_e: \{E_i\} \Rightarrow \{e_1, e_2, \dots, e_j, \dots, e_J\} \Rightarrow \{e_j\}; \quad \text{gdzie } i = \overline{1, I}; j = \overline{1, J}, \quad (2)$$

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, 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 (3) zapewnia dogodny sposób opisywania — adresowania elementów tej struktury obiektu w postaci zależności:

$$R_e: \{O\} \Rightarrow \{E_i\} \Rightarrow \{e_1, e_2, \dots, e_j, \dots, e_J\} \Rightarrow \{e_{i,j}\}; \quad \text{gdzie } i = \overline{1, I}; j = \overline{1, J}. \quad (3)$$

Efektom realizacji zależności (3) jest wyznaczony zbiór elementów podstawowych obiektu, które tworzą strukturę wewnętrzną (funkcjonalną) obiektu technicznego. Wyznaczony zbiór elementów obiektu zestawiono w tabeli 1.

TABELA 1

Tabela zbioru elementów podstawowych obiektu

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

gdzie: $(e_{i,j})$ — j -ty element podstawowy w i -tym zespole.

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. 2), takie podejście jest stosowane w praktyce diagnostycznej [5-11].

Zbiór wejściowej informacji diagnostycznej w pracy przedstawiono w postaci tabeli sygnałów diagnostycznych (tab. 2) i ich wzorców $\{X_{(w)}(e_{i,j})\}$ (tab. 3).

TABELA 2

Tabela wyjściowych sygnałów diagnostycznych obiektu

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

TABELA 3

Tabela wzorcowych sygnałów diagnostycznych obiektu

Obiekt	Zespoły obiektu E_i	Wektor wzorcowych sygnałów diagnostycznych $[X_{(w)}(e_{i,j})]$				
		$X_{(w)}(e_{1,1})$	...	$X_{(w)}(e_{i,j})$	...	$X_{(w)}(e_{i,j})$
O	E_1	$X_{(w)}(e_{1,1})$	...	$X_{(w)}(e_{1,j})$	...	$X_{(w)}(e_{1,j})$
	\vdots	\vdots	...	\vdots	...	\vdots
	E_i	$X_{(w)}(e_{i,1})$	...	$X_{(w)}(e_{i,j})$	...	$X_{(w)}(e_{i,j})$
	\vdots	\vdots	...	\vdots	...	\vdots
	E_I	$X_{(w)}(e_{I,1})$	...	$X_{(w)}(e_{I,j})$	...	$X_{(w)}(e_{I,j})$

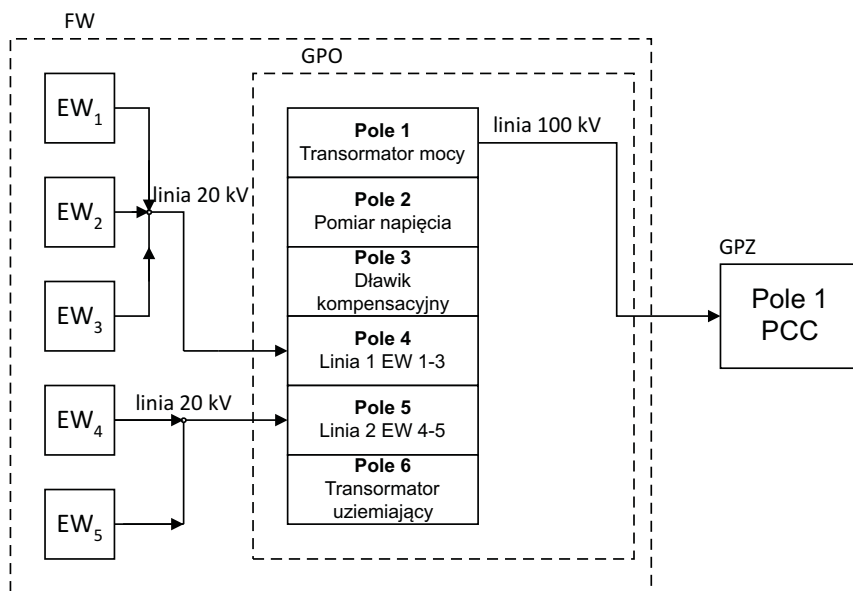
gdzie: $X_{(w)}(e_{i,j})$ — wzorcowy sygnał diagnostyczny j -tego elementu w i -tym zespole.

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 funkcjonalnodiagnostycznej jest wyznaczenie stanu obiektu. Jest on wyznaczany na podstawie badania zbioru sygnałów wyjściowych (diagnostycznych) $\{X_{i,j}\}$

(tab. 2 i 3). Wyznaczony w czasie opracowania diagnostycznego obiektu zbiór jego elementów funkcjonalnych $\{e_{i,j}\}$ jest podstawą do zestawienia w postaci tablicowej zbioru sygnałów diagnostycznych.

2. Struktura funkcjonalna urządzeń farmy wiatrowej

Do badań przyjęto modelową strukturę urządzeń farmy wiatrowej składającą się z pięciu (5) elektrowni wiatrowych typu Vestas V90, każda o mocy 2,0 MW, przyłączonych do Głównego Punktu Odbioru (GPO) za pomocą dwóch linii elektroenergetycznych 20 kV stanowiących wewnętrzną infrastrukturę elektroenergetyczną farmy wiatrowej (rys. 2). Przyjęto założenie, że farma wiatrowa będzie zlokalizowana w województwie zachodniopomorskim, tj. w I strefie energetycznej wiatru w Polsce. Założono także, że farma wiatrowa posiada stację abonencką GPO w celu wyprowadzenia mocy elektrycznej z farmy wiatrowej [1, 12, 16, 17, 19, 20].



Rys. 2. Schemat blokowy farmy wiatrowej, gdzie: EW nr 1-5 — elektrownia wiatrowa; GPO — główny punkt odbioru; GPZ — główny punkt zasilania; FW — farma wiatrowa; PCC — wspólny punkt przyłączenia

Zagospodarowanie stacji abonenckiej GPO zaprojektowano w sposób następujący:

1. Stanowisko transformatora mocy. Założono transformator o mocy 20 MVA, a w punkcie gwiazdowym uzwojeń 110 kV transformatora z uzemiennikiem, napędem ręcznym oraz ogranicznikiem przepięć.

2. Napowietrzna rozdzielnia 110 kV wyposażona w:
 - stanowisko dla transformatora uziemiającego pełniącego również funkcję transformatora potrzeb własnych 0,4 kV,
 - stanowisko dla dławika kompensacyjnego.
3. Kontenerowa rozdzielnia wewnętrzna wyposażona w:
 - rozdzielnię SN 20 kV,
 - pomieszczenie nastawni,
 - pomieszczenie SCADA.

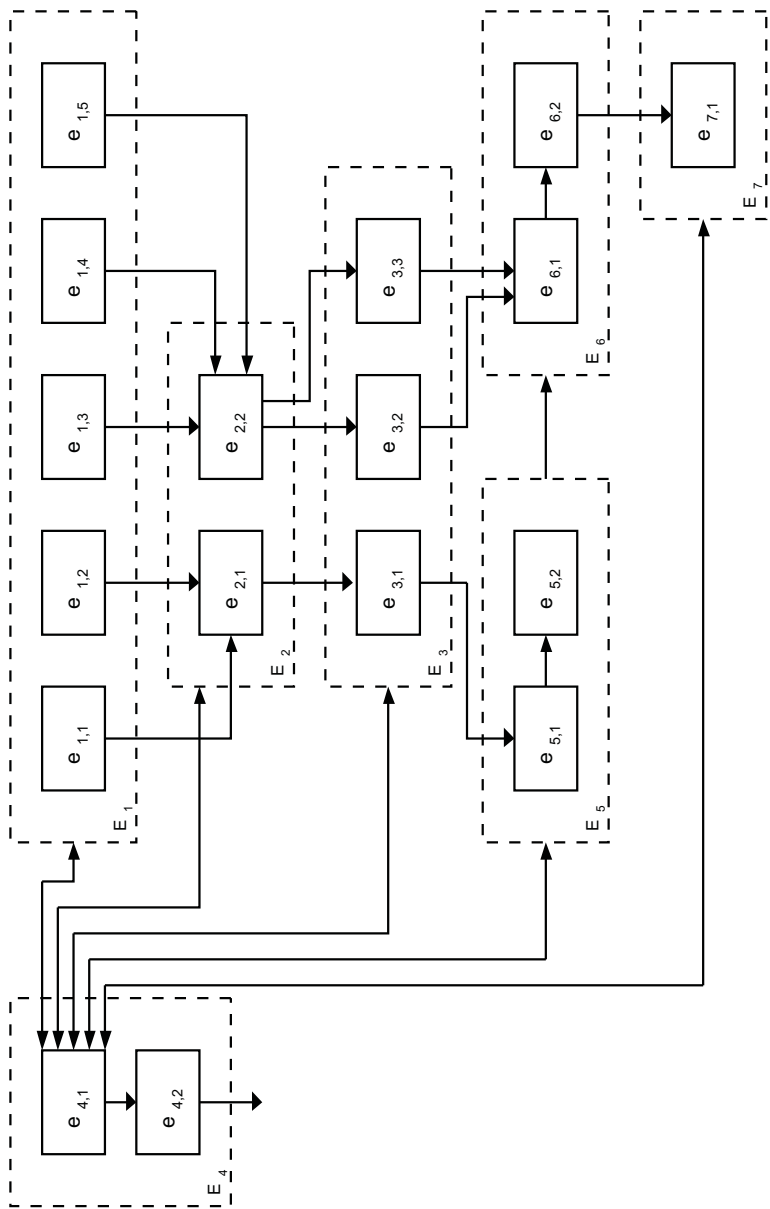
Połączenie pola transformatorowego stacji abonenckiej GPO projektowanej farmy wiatrowej z siecią Operatora Systemu Dystrybucyjnego (OSD) w Głównym Punkcie Zasilania (GPZ) przyjęto do przesyłania mocy elektrycznej linię kablową (rys. 2). Do transformatora przyjęto linię energetyczną o mocy 20/115 kV, natomiast od strony średniego napięcia (SN) założono przyłączenie dwóch linii kablowych wprowadzających moc z elektrowni wiatrowych do systemu energetycznego.

3. Model funkcjonalno-diagnostyczny urządzeń farmy wiatrowej

Problematyka tworzenia ekspertowych baz wiedzy to wyspecjalizowana dziedzina nauki odnosząca się do opracowania metod i zasad budowy, organizacji zbiorów informacji wiedzy inżynierskiej, diagnostycznej oraz eksploatacyjnej o badanym złożonym obiekcie technicznym. Podstawą tworzenia zbioru wiedzy inżynierskiej o danym obiekcie badania jest wiedza, jaką dysponuje użytkownik danego obiektu w zakresie jego budowy, użytkowania i eksploatacji. Wiedza inżynierska o danym obiekcie jest uzupełniana (rozszerzana) o zbiór informacji diagnostycznej obiektu wyznaczonej poprzez wykonanie opracowania diagnostycznego obiektu.

W wyniku analizy funkcjonalno-diagnostycznej wyróżniono w obiekcie czternaście zespołów funkcjonalnych. W każdym z zespołów wyznaczono podzbiór jego elementów funkcjonalnych oraz na ich wyjściach zidentyfikowano sygnały diagnostyczne, które tworzą zbiór sygnałów diagnostycznych $\{X(E_i)\}$. Na rysunku 3 przedstawiono odwzorowanie struktury blokowej farmy wiatrowej w opracowanym systemie ekspertowym.

Podstawą badań diagnostycznych urządzeń technicznych są modele funkcjonalno-diagnostyczne tych obiektów [4-20, 22, 24-29]. Stąd na potrzeby tej pracy opracowano schemat funkcjonalno-diagnostyczny systemu farmy wiatrowej (rys. 3). W wyniku analizy funkcjonalno-diagnostycznej wyróżniono w modelu farmy wiatrowej siedem i -tych zespołów funkcjonalnych. W każdym z i -tych zespołów wyznaczono podzbiór jego j -tych elementów podstawowych (funkcjonalnych). Wyznaczony zbiór elementów podstawowych $\{e_{i,j}\}$ w modelu farmy wiatrowej, wyznaczających jego strukturę wewnętrzną, zaprezentowano w tabeli 4.



Rys. 3. Schemat funkcjonalno-diagnostyczny urządzeń farmy wiatrowej, gdzie: E_1 — elektrownie wiatrowe nr 1-5; E_2 — linie przesyłowe średniego napięcia nr 1 i nr 2; E_3 — rozdzielnie średniego napięcia nr 1-3; E_4 — system pomiarowy i diagnostyki wielkości elektrycznych w poszczególnych elementach farmy wiatrowej; E_5 — dławik kompensacyjny i transformator potrzeb własnych farmy wiatrowej; E_6 — transformator i rozdzielnia WN; E_7 — główny punkt zasilający

TABELA 4

Struktura wewnętrzna modelu farmy wiatrowej

Zespoły obiektu	Elementy podstawowe $\{e_{i,j}\}$ w modelu farmy wiatrowej				
E_1	$e_{1,1}$	$e_{1,2}$	$e_{1,3}$	$e_{1,4}$	$e_{1,5}$
E_2	$e_{2,1}$	$e_{2,2}$	\emptyset	\emptyset	\emptyset
E_3	$e_{3,1}$	$e_{3,2}$	$e_{3,3}$	\emptyset	\emptyset
E_4	$e_{4,1}$	$e_{4,2}$	\emptyset	\emptyset	\emptyset
E_5	$e_{5,1}$	$e_{5,2}$	\emptyset	\emptyset	\emptyset
E_6	$e_{6,1}$	$e_{6,2}$	\emptyset	\emptyset	\emptyset
E_7	$e_{7,1}$	\emptyset	\emptyset	\emptyset	\emptyset

gdzie: $e_{1,1}, e_{1,2}, e_{1,3}, e_{1,4}, e_{1,5}$ — elektrownie wiatrowe nr 1-5;
 $e_{2,1}, e_{2,2}$ — linie przesyłowe średniego napięcia nr 1 i nr 2;
 $e_{3,1}-e_{3,3}$ — rozdzielnie średniego napięcia nr 1-3;
 $e_{4,1}$ — system pomiarowy wielkości elektrycznych w poszczególnych elementach farmy wiatrowej;
 $e_{4,2}$ — system diagnostyki elementów farmy wiatrowej;
 $e_{5,1}$ — dławik transformatora potrzeb własnych farmy wiatrowej;
 $e_{5,2}$ — transformator potrzeb własnych farmy wiatrowej;
 $e_{6,1}$ — transformator mocy;
 $e_{6,2}$ — rozdzielnia WN;
 $e_{7,1}$ — główny punkt zasilający.

Podstawą diagnostyki technicznej urządzeń i obiektów technicznych $\{O(e_{i,j})\}$ jest wykonanie opracowania diagnostycznego badanego obiektu. Jest to szereg działań i czynności techniczno-technologicznych, a także działań analitycznych. Efektem tych czynności jest opracowana struktura obiektu technicznego zestawiona w postaci jego schematu funkcjonalno-diagnostycznego, na podstawie którego wyznaczony jest zbiór sygnałów diagnostycznych $\{X_{i,j}\}$. Zespoły funkcjonalne obiektu (moduły) zobrażowane na schemacie funkcjonalno-diagnostycznym przedstawionym na rysunku 3 „adresowane” — numerowane są w następujący sposób: (E_i) jest i -tym numerem zespołu w obiekcie. Elementy zespołu „adresowane” są natomiast w postaci $(e_{i,j})$, gdzie: j -ty oznacza numer elementu w i -tym zespole. Opracowany model funkcjonalno-diagnostyczny systemu farmy wiatrowej przedstawiony na rysunku 3 był podstawą także do wyznaczenia zbioru sygnałów diagnostycznych oraz ich sygnałów wzorcowych. W wyniku analizy funkcjonalno-diagnostycznej wyróżniono w modelu elektrowni wiatrowej zbiór pomiarowych i wzorcowych sygnałów diagnostycznych $\{X(e_{i,j})\}$, które są zidentyfikowane na wyjściach j -tych elementów funkcjonalnych. Wyznaczony zbiór sygnałów diagnostycznych $\{X(e_{i,j})\}$ zaprezentowano w tabeli 5.

TABELA 5

Zbiór sygnałów diagnostycznych w obiekcie

Zespoły obiektu	Zbiór sygnałów diagnostycznych w modelu farmy wiatrowej $\{X(e_{i,j})\}$				
E_1	$X(e_{1,1})$	$X(e_{1,2})$	$X(e_{1,3})$	$X(e_{1,4})$	$X(e_{1,5})$
E_2	$X(e_{2,1})$	$X(e_{2,2})$	\emptyset	\emptyset	\emptyset
E_3	$X(e_{3,1})$	$X(e_{3,2})$	$X(e_{3,3})$	\emptyset	\emptyset
E_4	$X(e_{4,1})$	$X(e_{4,2})$	\emptyset	\emptyset	\emptyset
E_5	$X(e_{5,1})$	$X(e_{5,2})$	\emptyset	\emptyset	\emptyset
E_6	$X(e_{6,1})$	$X(e_{6,2})$	\emptyset	\emptyset	\emptyset
E_7	$X(e_{7,1})$	\emptyset	\emptyset	\emptyset	\emptyset

Mając zinterpretowany zbiór pomiarowych sygnałów diagnostycznych $\{X(e_{i,j})\}$ elektrowni wiatrowej, należy zaprojektować efektywny system pomiaru i ich ewidencji. Przykład zestawienia pomiarowego zbioru sygnałów diagnostycznych elektrowni wiatrowej i transformatora blokowego w GPO przedstawiono na rysunkach 4 i 5.

Podstawą pracy inżyniera bazy wiedzy dla systemu ekspertowego jest między innymi pomiarowy zbiór wartości cech j -tych sygnałów diagnostycznych. Tworząc bazę wiedzy, wykorzystywany jest pomiarowy zbiór wartości cech j -tych sygnałów diagnostycznych. Na bazie tych zbiorów dokonywana jest analiza zmierzonych wartości cech j -tych sygnałów diagnostycznych pod kątem wyznaczenia ich wartości minimalnych, maksymalnych i średnich. Wielkości powyższe są niezbędne do wyznaczenia wzorcowych j -tych sygnałów diagnostycznych oraz przedziałów zmian dopuszczalnych i granicznych tych sygnałów. Innym podejściem przy wyznaczaniu wzorcowych j -tych sygnałów diagnostycznych oraz przedziałów zmian dopuszczalnych i granicznych tych sygnałów mogą być dane serwisowe, które są zamieszczone w bazach serwisowych, np. „AutoData” zawiera dane dla pojazdów samochodowych. Praktycznym podejściem przy wyznaczaniu wzorcowych j -tych sygnałów diagnostycznych oraz przedziałów zmian dopuszczalnych i granicznych tych sygnałów są badania statystyczne. Na podstawie tych badań jest wyznaczany współczynnik poziomu ufności (α). W pracy dla systemu nadzoru bezpieczeństwa użytkownika obiektu technicznego przyjęto współczynnik poziomu ufności ($\alpha = 0,05$). Wielkość przyjęta współczynnika poziomu ufności (α) jest właściwa dla dużej grupy naprawialnych obiektów technicznych. Wielkość współczynnika poziomu ufności (α) ma bezpośredni wpływ na dokładność i jakość pracy inteligentnego systemu nadzoru bezpieczeństwa użytkownika obiektu technicznego.

Przy stosunkowo małej wartości współczynnika poziomu ufności ($\alpha < 0,05$) system nadzoru pracy obiektu pracuje w dość ostrych warunkach oceny stanu pracy obiektu technicznego. Powyższa sytuacja może spowodować, że stan niezdatności obiektu technicznego może nie być właściwie rozpoznany w systemie nadzoru.

Dane_WTG (2) - Microsoft Excel

	E	F	G	H
1	WTG01_Ambient WindDir Relative Avg. (4)	WTG01_Ambient Temp. Avg. (5)	WTG01_Ambient WindSpeed WindSensor1 A	
2	-3.7	16	5.5	
3	-0.1	16	5.5	
4	0	16	5.2	
5	-1.2	15	4.7	
6	0.8	15	4.8	
7	4.6	15	4.6	
8	4.4	15	4.2	
9	4.8	15	4.3	
10	4.3	15	4.5	
11	0.9	16	4.4	
12	-2.8	16	4.4	
13	-5.7	16	4.3	
14	5	15	4.7	
15	6	15	4.5	
16	1.5	15	4.6	
17	-4.5	15	4	
18	-3	15	3.8	
19	-1.6	15	3.8	
20	1.2	15	3.8	
21	-2.1	15	3.4	
22	-4.7	15	3.5	
23	0.3	15	3.2	
24	-2.4	15	2.8	
				Suma (A11:→)
				Umożliwia wyświetlenie sumy
				zaznaczonych komórek bezpośrednio
				po zaznaczeniu.

Rys. 4. Przykład pomiarowego zbioru sygnałów diagnostycznych urządzeń elektrowni wiatrowej

The screenshot shows an Excel spreadsheet with the following data:

	A	B	C	D
1	PCTimeStamp	WTG01_HVTrrafo Phase1 Temp. Avg. (1)	WTG01_HVTrrafo Phase2 Temp. Avg. (2)	WTG01_HVTrrafo Phase3 Temp. Avg. (3)
2	2016-10-01	65	69	64
3	2016-10-01 00:10	65	69	64
4	2016-10-01 00:20	65	69	64
5	2016-10-01 00:30	65	68	63
6	2016-10-01 00:40	64	68	63
7	2016-10-01 00:50	64	68	63
8	2016-10-01 01:00	64	68	63
9	2016-10-01 01:10	64	67	63
10	2016-10-01 01:20	64	67	63
11	2016-10-01 01:30	64	67	63
12	2016-10-01 01:40	64	68	63
13	2016-10-01 01:50	64	68	63
14	2016-10-01 02:00	64	68	64
15	2016-10-01 02:10	65	68	64
16	2016-10-01 02:20	65	69	64
17	2016-10-01 02:30	65	69	64
18	2016-10-01 02:40	65	69	64
19	2016-10-01 02:50	66	69	65
20	2016-10-01 03:00	66	69	65
21	2016-10-01 03:10	66	69	65
22	2016-10-01 03:20	66	70	65
23	2016-10-01 03:30	66	70	65
24	2016-10-01 03:40	66	70	65

Rys. 5. Przykład pomiarowego zbioru sygnałów diagnostycznych urządzeń transformatora blokowego w głównym punkcie odbioru (GPO) w farmie wiatrowej

Możliwa jest także sytuacja przeciwna, a mianowicie, że przy dużej wartości współczynnika poziomu ufności ($\alpha > 0,05$) system nadzoru niewłaściwie zinterpretuje stan zdadności obiektu technicznego. Uwzględniając powyższe dwie sytuacje, w pracy przyjęto wartości współczynnika poziomu ufności ($\alpha = 0,05$). Wartość ta wydaje się być wartością bezpieczną ze względu na poziom „fałszywego alarmu” i poziom „pozornego spokoju”. Oczywiście dokładne wyznaczenie wartości współczynnika poziomu ufności (α) dla danej klasy obiektu technicznego może być dokonane podczas badania stanu obiektu technicznego dla różnych wartości współczynnika poziomu ufności (α). Przyjmując powyższe rozważania dla dysponowanej bazy pomiarowej (rys. 4 i 5), wyznaczono zbiór wzorcowych sygnałów diagnostycznych $\{X_w(e_{i,j})\}$. Wyznaczony zbiór wzorcowych sygnałów diagnostycznych $\{X_w(e_{i,j})\}$ elektrowni wiatrowej zestawiono w tabeli 6.

TABELA 6

Zbiór sygnałów diagnostycznych pomiarowych i wzorcowych $\{X_w(e_{i,j})\}$ wyznaczonych dla jednej elektrowni wiatrowej w strukturze farmy wiatrowej (przykład)

Zespoły obiektu		Sygnały elementów podstawowych obiektu	
Symbol	Opis	Symbol	Opis wybranych sygnałów diagnostycznych
E ₁	Gondola z układem napędu turbiny	X(e _{1,1})	System pomiaru prędkości i kierunku wiatru — 18 wzorzec 18
		X(e _{1,2})	Układ obrotu gondoli — 240 wzorzec 240
		X(e _{1,3})	Układ napędu turbiny — 239 wzorzec 240
		X(e _{1,4})	Wirnik turbiny — 57 wzorzec 60
		X(e _{1,5})	Układ zmiany kąta natarcia łopat turbiny — 12,5 wzorzec 13
E ₂	Wał główny turbiny	X(e _{2,1})	Układ stabilizacji wału turbiny — 0,0038 wzorzec 0,0035
		X(e _{2,2})	Wał główny turbiny — 746 wzorzec 750
		X(e _{2,3})	Układ smarowania wału głównego — 28 wzorzec 30
E ₃	Przekładnia turbiny	X(e _{3,1})	Układ regulacji temperatury przekładni — 38 wzorzec 40
		X(e _{3,2})	Przekładnia turbiny — 1487 wzorzec 1500
		X(e _{3,3})	Sprzęgło — 1487 wzorzec 1500
		X(e _{3,4})	Hamulec układu generatora — 1487 wzorzec 1500
E ₄	Generator synchroniczny	X(e _{4,1})	Układ regulacji temperatury generatora — 38 wzorzec 40
		X(e _{4,2})	Generator synchroniczny — 690 wzorzec 690
E ₅	Magneśnica	X(e _{5,1})	Magneśnica generatora — 3,35 wzorzec 3,40
		X(e _{5,2})	Układ regulacji prądu generatora — 1,38 wzorzec 1,40
E ₆	Przekształtnik elektroenergetyczny	X(e _{6,1})	Układ regulatora mocy — 1,67 wzorzec 1,80
		X(e _{6,2})	Przekształtnik elektroenergetyczny — 678 wzorzec 690
E ₇	Transformator SN	X(e _{7,1})	Praca transformatora SN — 1,75 wzorzec 1,80

Inżynier opracowujący bazę wiedzy ekspertowej dla urządzeń farmy wiatrowej przekształca dysponowany zbiór informacji diagnostycznej dla danego obiektu technicznego do postaci takiego zbioru informacji, który jednoznacznie da odpowiedź na następujące problemy (informacje) dotyczące opisu:

- **obiekту** — pojęcie to określa nazwę badanego (opisywanego) urządzenia, chodzi o miejsce przypisane do danego elementu (modułu) faktu, np. turbina lub GPO,
- **parametru** — to wielkość liczbowa danego sygnału diagnostycznego, która jest opisywana wraz z podaniem przedziału zmian dopuszczalnych i granicznych tego sygnału, np. faktu nr 1-20 kV lub 110 kV,
- **kierunku** — jest to droga (tor) danego sygnału na schemacie funkcjonalnym urządzenia od punktu (miejsca) jego wypracowania do punktu końcowego,
- **bloku lub nazwy** — jest to „adres” elementu funkcjonalnego (modułu), który wypracowuje dany opisywany sygnał diagnostyczny w bazie wiedzy, np. określa miejsce powstawania sygnałów: EW lub GPO,
- **sygnału** — to opisanie, czy dany sygnał diagnostyczny jest typu pomiarowego, w tym analogowy lub binarny.

4. Podsumowanie

Wykonane modele funkcjonalno-diagnostyczne badanych urządzeń są podstawowymi narzędziami pomocniczymi przy budowaniu baz wiedzy ekspertowych dla badanego urządzenia. Można zatem powiedzieć, że im bardziej będą te schematy wykonane właściwie i wiarygodnie, to będą one bardziej przydatne do budowania baz wiedzy. Schematy funkcjonalno-diagnostyczne urządzeń, dla których budowane są bazy wiedzy, muszą także zawierać możliwie jak najwięcej niezbędnych informacji dla inżyniera opracowującego założenia wstępne. Do poszukiwanych informacji podczas opracowywania baz wiedzy należą między innymi: relacje między elementami funkcjonalnymi, połączenia oraz związki funkcjonalne i diagnostyczne, miejsce wypracowania określonego sygnału diagnostycznego i jego współzależność z innymi sygnałami w strukturze wewnętrznej obiektu.

Praca finansowana z Projektu Badawczego Statutowego Politechniki Koszalińskiej nr 504.02.12.

Artykuł opracowany na podstawie referatu nt. Opracowanie informacji diagnostycznej na potrzeby ekspertowego systemu nadzoru i bezpieczeństwa, przygotowanego na XXXI Międzynarodową Konferencję Naukowo-Techniczną „Ekomilitaris 2017”, Inżynieria bezpieczeństwa — ochrona przed skutkami nadzwyczajnych zagrożeń, Zakopane 12-15.09.2017 r.

Artykuł wpłynął do redakcji 10.03.2016 r. Zweryfikowaną wersję po recenzjach otrzymano 21.03.2017 r.

LITERATURA

- [1] AL-SHEMMERI T., *Wind Turbines*, T. Al-Shemmeri & Ventus Publishing ApS, 2010.
- [2] BĘDKOWSKI L., DĄBROWSKI T., *Podstawy eksploatacji*, cz. 2, Wyd. WAT, Warszawa, 2006, s. 187.
- [3] BUCHANNAN B., SHORTLIFFE E., *Rule-Based expert systems*, Addison-Wesley Publishing Company, 1985, p. 387.
- [4] DUER S., *System ekspertowy wykorzystujący trójwartościową informację diagnostyczną wspomagający obsługiwanie złożonego obiektu technicznego*, ZEM, z. 4(152), vol. 42, 2007, s. 195-208.
- [5] DUER S., *An algorithm for the diagnosis of reparable technical objects utilizing artificial neural Network*, ZEM, vol. 43, no. 1(53), 2008, pp. 101-113.
- [6] DUER S., *Determination of a diagnostic information of a reparable technical object on the basis of a functional and diagnostic analysis on example of a car engine*, ZEM, vol. 43, no. 4(156), 2008, pp. 85-94.
- [7] 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.
- [8] DUER S., *Inteligentny system wspomagający proces odnawiania cech eksploatacyjnych w złożonych obiektach technicznych*, Wydawnictwo Uczelniane Politechniki Koszalińskiej, Koszalin, 2012, s. 242.
- [9] 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, vol. 21, no. 1, 2012, pp. 153-160.
- [10] DUER S., *Applications of an artificial intelligence for servicing of a technical object*, Neural Computing & Applications, vol. 22, no. 5, 2013, pp. 955-968.
- [11] 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, vol. 22, no. 7, 2013, pp. 1581-1590.
- [12] DUER S., ZAJKOWSKI K., DUER R., BERNATOWICZ D., WRZESIEŃ P., *Inteligentny system nadzoru i bezpieczeństwa dla farmy wiatrowej*, Logistyka, 6, 2014, s. 3312-3321.
- [13] DUER S., BERNATOWICZ D., DUER R., *Wykorzystanie logiki czterowartościowej w komputerowym programie diagnostycznym DIAG 2*, Logistyka, 3, 2015, s. 1008-1116.
- [14] DUER S., BERNATOWICZ D., DUER R., *Metoda wnioskowania w logice wielowartościowej w programie diagnostycznym DIAG 2*, Logistyka, 3, 2015, s. 1100-1108.
- [15] 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.
- [16] DUER S., ZAJKOWSKI K., WRZESIEŃ P., DUER R., *Diagnostyka użytkownika urządzeń elektrowni wiatrowej*, Logistyka, 3, 2015, s. 1140-1148.
- [17] DUER S., WRZESIEŃ P., DUER R., *Projekt systemu ekspertowego wspomagającego użytkownika elektrowni wiatrowej*, Logistyka, 3, 2015, s. 1116-1124.
- [18] 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.
- [19] 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*, Nonconventional Technologies Review 2016, Romanian, June, 2016, pp. 23-29.

- [20] DUER S., ZAJKOWSKI K., DUER R., WRZESIEŃ P., BERNATOWICZ D., *Ekspertowa baza wiedzy wspomagająca diagnozowanie urządzeń farmy wiatrowej*, Wydawnictwo Uczelniane Politechniki Koszalińskiej, Koszalin, 2017, s. 163 (w druku).
- [21] DHILLON B.S., *Applied Reliability and Quality, Fundamentals, Methods and Procedures*, Springer-Verlag London Limited, 2006, p. 186.
- [22] HAYER-ROTH F., WATERMAN D., LENAT D., *Building expert systems*, Addison-Wesley Publishing Company, 1983, p. 192.
- [23] *Instrukcja obsługi siłowni wiatrowej Nordex klasy K08 gamma*.
- [24] LUBOŚNY Z., *Automatyka zabezpieczeniowa farm wiatrowych*, Wydawnictwo WNT, Warszawa, 2014.
- [25] LUBOŚNY Z., *Farmy wiatrowe w systemie elektroenergetycznym*, Wydawnictwo WNT, 2013.
- [26] GUPTA MADAN M., LIANG J. and NORIYASU H., *Static and Dynamic Neural Networks, From Fundamentals to Advanced Theory*, John Wiley and Sons, Inc., 2003, p. 718.
- [27] POKORÁDI L., DUER S., *Investigation of maintenance process with Markov matrix. Proceedings of the 4th International Scientific Conference On Advances In Mechanical Engineering*, Debrecen, Hungary, 13-15 October 2016, pp. 402-407.
- [28] ROSIŃSKI A., *Reliability analysis of the electronic protection systems with mixed-three branches reliability structure*, Reliability, Risk and Safety. Theory and Applications, volume 3, [eds.] R. Bris, C. Guedes Soares & S. Martorell, CRC Press/Balkema, London, UK, 2010.
- [29] ROSIŃSKI A., *Reliability analysis of the electronic protection systems with mixed m-branches reliability structure*, Advances in Safety, Reliability and Risk Management, [eds.]: Berenguer, Grall & Guedes Soares, Taylor & Francis Group, London, UK, 2012.
- [30] WATERMAN D., *A guide to expert systems*, Addison-Wesley Publishing Company, 1986, p. 545.

R. DUER, S. DUER

Information with diagnostic technical object used to create experts' knowledge base

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 the development of the functional-diagnostic model was presented and described on the example of the wind power plant. Based on the developed model of the object, diagnostic information has been determined, which consists of two components: a set of basic elements and a set of diagnostic signals, which are worked out by the designated elements in the functional groups of the object. An important aspect in this paper is the shift in the pro bono definition of a set of diagnostic signals. Knowledge of the set of diagnostic signals and their nominal (master) signals is the basis for determining the range of changes in diagnostic signals that are the basis for the diagnosis of an object using the intelligent diagnostic system (DIAG 2) or using knowledge bases for expert systems.

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

DOI: 10.5604/01.3001.0010.1892