



## Model funkcjonalno-diagnostyczny hybrydowego systemu zasilania z wykorzystaniem odnawialnych źródeł energii

RADOSŁAW DUER<sup>1</sup>, PAWEŁ WRZESIEN<sup>2</sup>,  
STANISŁAW DUER<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Jabil Circuit Poland, ul. Lotnicza 2, 82-500 Kwidzyn, radoslaw.duer@wp.pl

<sup>2</sup> Vortex Energy Polska sp. z o.o., Plac Rodła 8, 70-419 Szczecin, p.wrzesien@vortex-energy.pl

<sup>3</sup> Politechnika Koszalińska, Wydział Mechaniczny, ul. Raclawicka 15-17, 75-620 Koszalin, stanislaw.duer@tu.koszalin.pl

**Streszczenie.** W artykule przedstawiono problematykę budowania diagnostycznej bazy wiedzy dotyczącej hybrydowego systemu zasilania na potrzeby organizacji procesu badania stanu obiektu. Podstawą do pozyskiwania informacji diagnostycznej dotyczącej urządzeń hybrydowego systemu zasilania jest analiza funkcjonalno-diagnostyczna badanego obiektu. Efektem procesu budowania jest model struktury funkcjonalno-diagnostycznej, wyznaczone zbiory elementów podstawowych oraz sygnałów pomiarowych wraz z przypisanymi im wzorcami mierzonych sygnałów.

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

**DOI:** 10.5604/01.3001.0013.9726

### 1. Wstęp

Diagnostyka techniczna w ostatnich latach efektywnie się rozwija. Zjawisku temu sprzyja wykorzystanie procesów technologicznych oraz urządzeń technicznych sztucznej inteligencji [1-2]. Efektywnie stosowane są w diagnostyce technicznej programy diagnostyczne z wykorzystaniem sztucznych sieci neuronowych oraz programy funkcjonujące na bazie algorytmów ewolucyjnych i genetycznych, w tym mrówkowych i innych [3-15]. Autorzy artykułu systematycznie doskonalili badanie

stanu urządzeń technicznych poprzez ulepszanie metody badania stanu obiektu polegającej na analizie metryk odległości wynikającej z porównania obrazów wektorów sygnałów diagnostycznych z ich wzorcami. W tym celu wykorzystano rozwiązania opracowane na bazie sztucznej inteligencji. Efektem tych prac jest diagnostyczny program komputerowy (DIAG 2) [3-6].

W energetyce powszechnie stosowane są systemy wykorzystujące odnawialne źródła energii (OZE). W tych rozwiązaniach używa się hybrydowych systemów zasilania wykorzystujących jednocześnie moduły fotowoltaiczne oraz turbiny wiatrowe. Powstaje zapotrzebowanie na rozwiązania techniczne, które będą efektywnie realizować proces użytkowania elektrycznych systemów zasilania.

W artykule zaprezentowano zagadnienie dotyczące budowania diagnostycznej bazy wiedzy dla hybrydowego systemu zasilania. Podstawą realizacji systemu diagnostycznego służącego do badania stanu urządzeń hybrydowego systemu zasilania jest analiza funkcjonalno-diagnostyczna badanego obiektu. Efekt pracy w tym zakresie to opracowanie modelu (struktury) funkcjonalno-diagnostycznego, wyznaczenie zbioru elementów podstawowych oraz zbioru sygnałów diagnostycznych wraz z przypisaniem im wzorcowych sygnałów diagnostycznych.

## 2. Opis funkcjonowania hybrydowego systemu zasilania

System zasilania elektrycznego dla wybranego obiektu został zaprojektowany z wykorzystaniem urządzeń fotowoltaicznych z modułami fotowoltaicznymi typu monokrystalicznego FLEX-02 340 W o mocy znamionowej 340 Wp — 6 szt. Do systemu zostaną podłączone cztery turbiny wiatrowe Savonius — ElvWiS III ALU-MINIUM. Panele zamontowano na konstrukcjach wsporczych na dachu domu. Podział i rozmieszczenie ogniw należy wykonać z uwzględnieniem elementów zaciemniających. Energia z paneli będzie odprowadzana przez kable solarne o przekroju  $6 \text{ mm}^2$  do hybrydowego regulatora ładowania (100 A dla TW 60 A dla PV 48/24/12V 8 kW), a z niego do bloku gromadzenia energii (sześć akumulatorów 12 V) — rys. 1 i 2. Widok hybrydowego systemu zasilania elektrycznego DNW przedstawiono na rysunku 1. Do tego regulatora napięcia podłączony będzie zespół czterech turbin wiatrowych. Wytworzona energia elektryczna po jej zamianie na postać DC 12/24 V poprzez regulator napięcia zasilać będzie blok akumulatorów. Urządzenia zewnętrzne służą do gromadzenia energii elektrycznej wytworzonej przez prądnicę wiatrową oraz panele fotowoltaiczne w baterii akumulatorów. Nowoczesny mikroprocesor kontroluje wszystkie parametry ładowania w regulatorze napięcia.

Wszystkie dane sterujące są prezentowane na dużym wyświetlaczu LCD (rys. 1). Oprócz tego poszczególne stany pracy urządzenia sygnalizowane są za pomocą diod LED na panelu przednim. Sterownik ma możliwość podłączenia grzałek z płynną regulacją (dystrybucją mocy) PWM, przez co nie będzie skokowo „wyłączać” turbiny

wiatrowej — tak jak przy systemach kaskadowych, które nie są w takim przypadku zalecane. Posiada również WYJŚCIE STERUJĄCE (REMOTE), umożliwiające wystawienie zewnętrznego urządzenia o regulowanych progach załącz/wyłącz (w zależności od stopnia naładowania akumulatora), takiego jak stycznik, inwerter 230 V, lub bezpośrednio obciążenia nieprzekraczającego dopuszczalnej obciążalności wyjścia. Jest to niezwykle przydatna opcja w przypadku zaopatrzenia swojego systemu w inwerter (falownik) 230 V, który na tzw. biegu jałowym pobiera pewną wielkość energii elektrycznej. W większości sterowników w razie awarii elementów mocy zarządzających grzałkami dochodzi do całkowitego rozładowania (trwałego uszkodzenia) drogich akumulatorów. Energia typu stałego DC z bloku akumulatorów będzie transformowana do falownika trójfazowego zasilającego pompę ciepła oraz do przetwornicy (falownika) **Multiplus DC/AC 12 V/5000/120-50**. Po zamianie w falowniku energia typu prąd przemienny trójfazowy o napięciu 230 V/ 50 Hz przesyłana jest dalej do instalacji elektrycznej w obiekcie. W instalacji projektuje się zabezpieczenia przeciwwyływywe energii do sieci energetyki zawodowej. Ma to być zrealizowane w systemie sterowania i monitoringu.



Rys. 1. Widok hybrydowego systemu zasilania elektrycznego (zdj. S. Duer)



W tym celu w pomieszczeniu rozdzielni głównej projektuje się urządzenia na bieżąco monitorujące wartość energii pobieranej przez instalację, co pozwala dopasować ilość wyprodukowanej energii do wartości energii konsumowanej.

System fotowoltaiczny to instalacja, która wyposażona jest w odpowiednią grupę urządzeń umożliwiających wykorzystanie energii słonecznej do wyprodukowania energii elektrycznej (rys. 2). System ten podłączony jest do sieci energetycznej w celu zapewnienia ciągłości elektrycznego zasilania urządzeń 230 V/ 400 V. Najważniejszymi elementami systemu hybrydowego są:

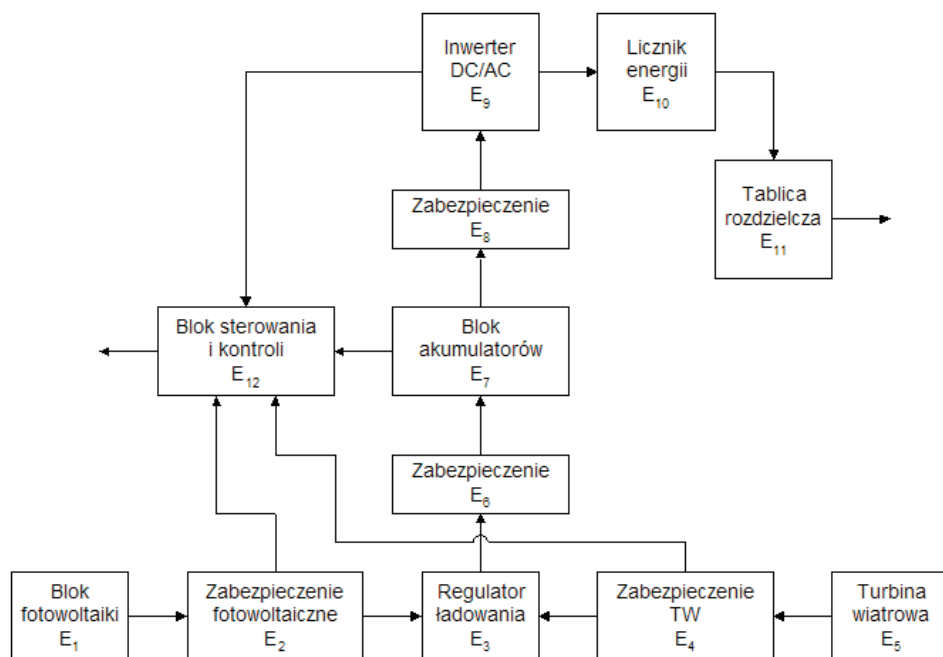
- panele PV o mocy  $4 \times 340 \text{ W} = 1360 \text{ W}$ ;
- turbiny wiatrowe o mocy  $4 \times 290 \text{ W} = 1160 \text{ W}$ ;
- sterownik ładowania o mocy 2,5 kW;
- przetwornica Multiplus 24 V/5000/120-50;
- hybrydowy regulator ładowania wiatr 110 A/40 A słońce;
- przewody solarne o przekroju  $9 \text{ mm}^2$  na napięcie znamionowe 1000 V;
- przewody DC YDY  $p2 \times 9 \text{ mm}^2$ ;
- przewody AC YDY  $p2 \times 1,5 \text{ mm}^2$ ;
- zabezpieczenia przepięciowe i odgromowe;
- zabezpieczenia nadprądowe AC i DC;
- system zarządzania energią.

### 3. Model funkcjonalno-diagnostyczny urządzeń hybrydowego systemu zasilania

Problematyka budowania diagnostycznych lub ekspertowych baz wiedzy to wyspecjalizowana dziedzina nauki odnosząca się do opracowania metod i zasad budowy i 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 wyznaczonej przez wykonanie opracowania diagnostycznego obiektu.

**Definicja:** *Opracowanie diagnostyczne obiektu technicznego* to proces analityczno-twórczy pozyskiwania zbiorów informacji diagnostycznej o danym obiekcie. Wyznaczany zbiór składa się z podzbiorów informacji dotyczącej: wykonania modelu funkcjonalno-diagnostycznego, wyznaczenia podzbioru elementów podstawowych w obiekcie, wyznaczenia podzbioru sygnałów pomiarowych oraz ich sygnałów wzorcowych. Wykonanie opracowania bazy wiedzy diagnostycznej obiektu technicznego wymaga posiadania wiedzy specjalistycznej oraz inżynierskiej odnoszącej się do budowy, użytkowania oraz badania stanu tej klasy obiektów technicznych [1-3].

Istotnym elementem w przedstawionym modelu inteligentnego systemu wspomagającego obsługiwanie obiektu technicznego jest sam obiekt techniczny. Jego model na potrzeby organizacji procesu jego diagnozowania oraz obsługi jest najczęściej przedstawiany jako model funkcjonalno-diagnostyczny (rys. 3).



Rys. 3. Schemat modelu funkcjonalno-diagnostycznego urządzeń hybrydowego systemu zasilania, gdzie:  $E_1$  — blok modułów PV,  $E_2$  — zabezpieczenie modułów PV,  $E_3$  — regulator ładowania,  $E_4$  — zabezpieczenie turbin wiatrowych,  $E_5$  — zespół turbin wiatrowych,  $E_6$  — zabezpieczenie dla regulatora ładowania,  $E_7$  — blok akumulatorów,  $E_8$  — zabezpieczenie dla inwertera,  $E_9$  — inwerter DC/AC 230 V/50 Hz,  $E_{10}$  — licznik energii,  $E_{11}$  — tablica rozdzielcza,  $E_{12}$  — blok kontroli i sterowania

Przyjęty do badań obiekt techniczny o strukturze wewnętrznej przedstawionej na rysunku 3 jest złożony. Istnieje jednak warunek, że w obiekcie w wyznaczonych punktach pomiarowych jego struktury wewnętrznej występują sygnały pomiarowe — diagnostyczne (sygnały analogowe lub cyfrowe), którym przypisane są cechy sygnałów diagnostycznych [1-2, 3-6, 12-13]. 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  $\{e_{i,j}\}$ .

Podstawą badań diagnostycznych urządzeń technicznych są modele funkcjonalno-diagnostyczne tych obiektów [3-6, 13] (rys. 3). 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 tych zespołów wyznaczono podzbiór jego j-tych elementów podstawowych (funkcjonalnych). Zbiór elementów podstawowych  $\{e_{i,j}\}$  w modelu farmy wiatrowej wyznacza jego strukturę wewnętrzną, którą zaprezentowano w tabelach 1 i 2.

TABELA 1

Zbiór sygnałów diagnostycznych  $\{X(e_{i,j})\}$  wyznaczonych w modelu hybrydowego systemu zasilania

Zespoły obiektu	Zbiór sygnałów diagnostycznych $\{X(e_{i,j})\}$ wyznaczonych w modelu elektrowni wiatrowej					
$E_1$	$e_{1,1}$	$e_{1,2}$	$e_{1,3}$	$e_{1,4}$	$e_{1,5}$	$e_{1,6}$
$E_2$	$e_{2,1}$	$e_{2,2}$	$\emptyset$	$\emptyset$	$\emptyset$	$\emptyset$
$E_3$	$e_{3,1}$	$\emptyset$	$\emptyset$	$\emptyset$	$\emptyset$	$\emptyset$
$E_4$	$e_{4,1}$	$e_{4,2}$	$\emptyset$	$\emptyset$	$\emptyset$	$\emptyset$
$E_5$	$e_{5,1}$	$e_{5,2}$	$e_{5,3}$	$e_{5,4}$	$\emptyset$	$\emptyset$
$E_6$	$e_{6,1}$	$\emptyset$	$\emptyset$	$\emptyset$	$\emptyset$	
$E_7$	$e_{7,1}$	$e_{7,2}$	$e_{7,3}$	$e_{7,4}$	$e_{7,5}$	$e_{7,6}$
$E_8$	$e_{8,1}$	$\emptyset$	$\emptyset$	$\emptyset$	$\emptyset$	$\emptyset$
$E_9$	$e_{9,1}$	$\emptyset$	$\emptyset$	$\emptyset$	$\emptyset$	$\emptyset$
$E_{10}$	$e_{10,1}$	$\emptyset$	$\emptyset$	$\emptyset$	$\emptyset$	$\emptyset$
$E_{11}$	$e_{11,1}$	$\emptyset$	$\emptyset$	$\emptyset$	$\emptyset$	$\emptyset$
$E_{12}$	$e_{12,1}$	$e_{12,2}$				

gdzie:  $E_1$  — blok modułów PV:  $e_{1,1}$  do  $e_{1,6}$  — moduły fotowoltaiczne od nr 1 do nr 6;  
 $E_2$  — zabezpieczenie modułów PV:  $e_{2,1}$  — zabezpieczenia nadprądowe EP UC 100 16 A/300 V,  $e_{2,2}$  — zabezpieczanie przepięciowe typ II C ochronnik przepięciowy DEHNguard YPV SCI T2 300 V;  
 $E_3$  — regulator ładowania:  $e_{3,1}$  — regulator ładowania;  
 $E_4$  — zabezpieczenie turbin wiatrowych:  $e_{4,1}$  — zabezpieczenia nadprądowe EP 100UC 50 A/100 V,  $e_{4,2}$  — zabezpieczanie przepięciowe typ II C ochronnik przepięciowy DEHNguard YPV SCI T2 100 V;  
 $E_5$  — zespół turbin wiatrowych:  $e_{5,1}$  do  $e_{5,4}$  — turbiny wiatrowe od nr 1 do nr 4;  
 $E_6$  — zabezpieczenie dla regulatora ładowania:  $e_{6,1}$  — zabezpieczenia nadprądowe o charakterystyce typu B o prądzie 150 A;  
 $E_7$  — blok akumulatorów: od  $e_{7,1}$  do  $e_{7,6}$  — akumulatory 24 V od nr 1 do nr 6;  
 $E_8$  — zabezpieczenie dla inwertera:  $e_{8,1}$  — wyłącznik nadmiarowo prądowy typu CLS6-B10 269608 EATON z nastawą 16 A;  
 $E_9$  — inwerter DC/AC 230 V/50 Hz:  $e_{9,1}$  — inwerter DC/AC;  
 $E_{10}$  — zabezpieczenie dla inwertera od strony AC:  $e_{10,1}$  — zabezpieczanie typu 1-biegunowy rozłącznik izolowany 32 A;  
 $E_{11}$  — licznik energii, tablica rozdzielcza:  $e_{11,1}$  — tablica rozdzielcza;  
 $E_{12}$  — blok kontroli i sterowania:  $e_{12,1}$  — zespół sterowania,  $e_{12,2}$  — zespół kontroli i obrazowania systemu zasilania.

TABELA 2.

Wykaz zespołów funkcjonalnych i elementów podstawowych badanego obiektu wyznaczonych w opracowaniu diagnostycznym

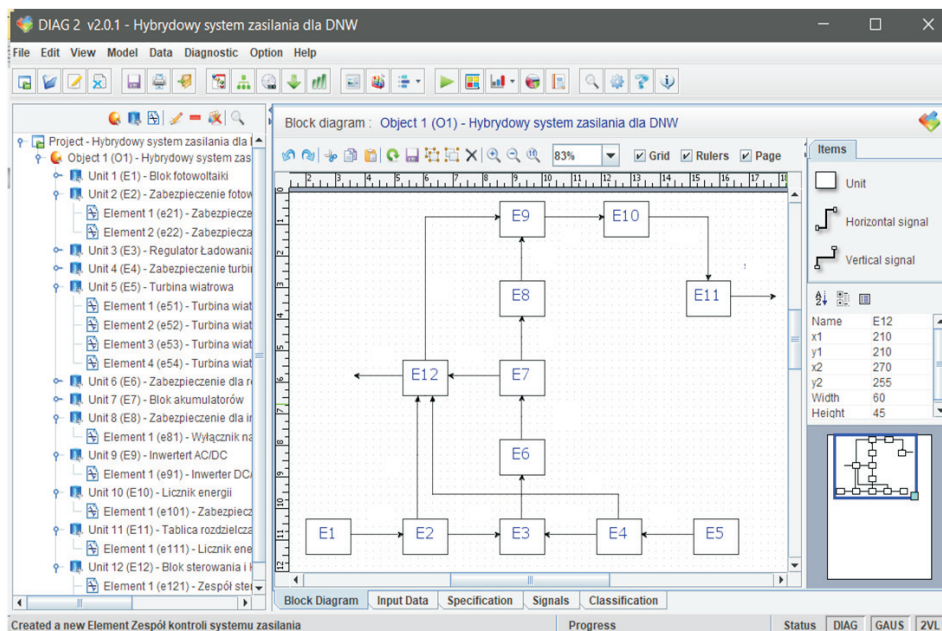
Zespoły obiektu		Elementy podstawowe obiektu	
Symbol	Opis	Symbol	Opis
1	2	3	4
E <sub>1</sub>	blok modułów PV	e <sub>1,1</sub>	moduły fotowoltaiczne od nr 1 do nr 6
		e <sub>1,2</sub>	
		e <sub>1,3</sub>	
		e <sub>1,4</sub>	
		e <sub>1,5</sub>	
		e <sub>1,6</sub>	
E <sub>2</sub>	zabezpieczenie modułów PV	e <sub>2,1</sub>	zabezpieczenia nadprądowe EP UC 100 16 A/300 V
		e <sub>2,2</sub>	zabezpieczanie przepięciowe typ II C ochronnik przepięciowy DEHNguard YPV SCI T2 300 V
E <sub>3</sub>	regulator ładowania	e <sub>3,1</sub>	regulator ładowania
E <sub>4</sub>	zabezpieczenie TW	e <sub>4,1</sub>	zabezpieczenia nadprądowe EP 100UC 50 A/100 V
		e <sub>4,2</sub>	zabezpieczanie przepięciowe typ II C ochronnik przepięciowy DEHNguard YPV SCI T2 100 V
E <sub>5</sub>	zespół turbin wiatrowych z prostownikiem 12 V/24 V	e <sub>5,1</sub>	turbiny wiatrowe od nr 1 do nr 4
		e <sub>5,2</sub>	
		e <sub>5,3</sub>	
		e <sub>5,4</sub>	
E <sub>6</sub>	zabezpieczenie regulatora ładowania	e <sub>6,1</sub>	zabezpieczenia nadprądowe o charakterystyce typu B o prądzie zadziałania 150 A
E <sub>7</sub>	blok akumulatorów	e <sub>7,1</sub>	akumulatory 24 V od nr 1 do nr 6
		e <sub>7,2</sub>	
		e <sub>7,3</sub>	
		e <sub>7,4</sub>	
		e <sub>7,5</sub>	
		e <sub>7,6</sub>	
E <sub>8</sub>	zabezpieczenie dla inwertera od strony DC	e <sub>8,1</sub>	wyłącznik nadmiarowo prądowy typu CLS6-B10 269608 EATON z nastawą 16 A
E <sub>9</sub>	inwerter DC/AC	e <sub>9,1</sub>	inwerter DC/AC
E <sub>10</sub>	zabezpieczenie dla inwertera od strony AC	e <sub>10,1</sub>	zabezpieczanie typu 1-biegunowy rozłącznik izolowany 32 A
E <sub>11</sub>	licznik energii, tablica rozdzielcza	e <sub>11,1</sub>	licznik energii, tablica rozdzielcza
E <sub>12</sub>	zespół sterowania i kontroli systemu zasilania	e <sub>12,1</sub>	zespół sterowania
		e <sub>12,2</sub>	zespół kontroli systemu zasilania



W wyniku analizy funkcjonalno-diagnostycznej wyróżniono w modelu hybrydowego systemu zasilania (rys. 3 i 4) zbiór sygnałów diagnostycznych  $\{X(e_{i,j})\}$ , które są zidentyfikowane na wyjściach j-tych elementów funkcjonalnych. Wyznaczony zbiór sygnałów diagnostycznych  $\{X(e_{i,j})\}$  w hybrydowym systemie zasilania zestawiono w tabeli 2. Przyjmuje się, że wyróżniony w schemacie struktury obiektu j-ty element podstawowy lub moduł to taki element obiektu, który jest już w swojej strukturze niepodzielny. Element podstawowy lub moduł wypracowuje swój sygnał wyjściowy (rys. 4 i 5).

W przypadku gdy element wypracowuje więcej niż jeden sygnał wyjściowy, wówczas należy wyznaczyć tylko jeden sygnał uogólniony. Sygnał ten najbardziej odzwierciedla własności użytkowe (diagnostyczne, niezawodnościowe itp.) danego j-tego elementu.

Na bazie wyznaczonej informacji specjalistycznej o obiekcie w dalszym etapie prac będzie opracowywany (konstruowany) system diagnostyczny dla badania hybrydowego układu zasilania z wykorzystaniem inteligentnego programu komputerowego (DIAG 2).



Rys. 4. Postać wynikowa programu „DIAG 2” dla modułu „Struktura”

DIAG 2 v2.0.1 - Hybrydowy system zasilania dla DNW

Specification : Object 1 (O1) - Hybrydowy system zasilania

A set of basic elements and their diagnostic signals

Object units		Basic elements of the object		Diagnostic signals		
Symbol	Name of unit	Symbol	Name of element	Symbol	Value	Max
E1	Blok fotowoltaiki	e1,1	Moduł fotowoltaiczny PV1	X(e1,1)	11.5	11.6
		e1,2	Moduł fotowoltaiczny PV2	X(e1,2)	11.2	11.6
		e1,3	Moduł fotowoltaiczny PV3	X(e1,3)	11.4	11.6
		e1,4	Moduł fotowoltaiczny PV4	X(e1,4)	10.8	11.6
		e1,5	Moduł fotowoltaiczny PV5	X(e1,5)	11.3	11.6
		e1,6	Moduł fotowoltaiczny PV6	X(e1,6)	10.4	11.6
E2	Zabezpieczenie fotowoltaiczne	e2,1	Zabezpieczenia nadprądowe EP UC 100 16A/300V	X(e2,1)	11.4	11.6
		e2,2	Zabezpieczenie przepięciowe typ II C 300 V	X(e2,2)	154.0	160.0
E3	Regulator Ładowania	e3,1	Regulator ładowania	X(e3,1)	43.5	45.0
E4	Zabezpieczenie turbin wiatrowych	e4,1	Zabezpieczenia nadprądowe EP 100UC 50A/100V	X(e4,1)	11.4	11.6

A set of basic elements and their diagnostic signals

Block Diagram | Input Data | Specification | Signals | Classification

Modified Object Hybrydowy system zasilania dla DNW | Progress | Status | SPEC | GAUS | 3VL

Rys. 5. Panel klasyfikacji obiektu technicznego dla modułu „Wartości sygnałów”

## 4. Podsumowanie

Diagnozowanie złożonych obiektów technicznych realizowane jest na bazie posiadanej informacji diagnostycznej o obiekcie badania przy wykorzystaniu specjalistycznych narzędzi i programów komputerowych, np. (DIAG 2) lub innych. Podstawą organizacji procesu diagnozowania są modele funkcjonalno-diagnostyczne badanego obiektu. Zaprezentowany w artykule model funkcjonalno-diagnostyczny hybrydowego systemu zasilania jest ważnym narzędziem pomocniczym przy budowaniu baz wiedzy diagnostycznej. Można zatem stwierdzić, że im bardziej te schematy (modele) zostaną wykonane wiarygodnie (przy ich dużym opisie), będą bardziej przydatne w procesie budowania diagnostycznych baz wiedzy. Schematy funkcjonalno-diagnostyczne urządzeń, na podstawie których są opracowywane specjalistyczne bazy wiedzy, muszą także zawierać możliwie jak najwięcej niezbędnych informacji dla inżyniera opracowującego diagnostyczną bazę wiedzy. Badanie stanu obiektu technicznego realizowane jest na podstawie analizy i porównywania wartości wektorów sygnałów diagnostycznych z ich wektorami wzorcowymi. Stąd w procesie badania stanu obiektów technicznych istotne jest wyznaczenie zbioru sygnałów pomiarowych i ich wzorcowych sygnałów. Problematyka badania stanu obiektów i urządzeń technicznych jest przedstawiana w opracowaniach [6-15].

Praca finansowana z Projektu Badawczego Statutowego Politechniki Koszalińskiej nr 504.02.33.

Artykuł wpłynął do redakcji 22.05.2019 r. Zweryfikowaną wersję po recenzjach otrzymano 21.10.2019 r.

Stanisław Duer <https://orcid.org/0000-0001-9627-015X>

#### BIBLIOGRAFIA

- [1] BĘDKOWSKI L., DĄBROWSKI T., *Podstawy eksploatacji*, cz. 2, WAT, Warszawa 2006, s. 187.
- [2] BĘDKOWSKI L., *Elementy ogólnej teorii diagnostyki technicznej*, WAT, Warszawa 1981.
- [3] 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.
- [4] DUER S., WRZESIEŃ P., DUER R., *Creating of structure of facts for the knowledge base of an expert system for wind power plant's equipment diagnosis*, EEMS 2017, E3S Web of Conferences 19, 01029 (2017). DOI: 10.1051/e3sconf/20171901038.
- [5] DUER R., DUER S., *Badanie diagnostyki urządzeń elektrowni słonecznej w logice 2- i 3-wartościowej*, Biuletyn Wojskowej Akademii Technicznej, vol. 66, nr 2, 2017, s. 67-79.
- [6] DUER S., BERNATOWICZ D., *The computer diagnostic program (DIAG 2) for identifying states of complex technical objects*, EEMS 2017, E3S Web of Conferences 19, 01029 (2017). DOI: 10.1051/e3sconf/20171901029.
- [7] DHILLON B.S., *Applied Reliability and Quality, Fundamentals, Methods and Procedures*, Springer – Verlag London Limited, 2006, p. 186.
- [8] FLASIŃSKI M., *Wstęp do sztucznej inteligencji*, PWN, Warszawa 2011, s. 331.
- [9] HOJJAT A., SHIH-LIN HUNG, *Machine learning, neural networks, genetic algorithms and fuzzy systems*, John Wiley and Sons, Inc. 1995.
- [10] MADAN M. GUPTA, LIANG JIN, NORIYASU H., *Static and Dynamic Neural Networks, From Fundamentals to Advanced Theory*, John Wiley End Sons, Inc. 2003, p. 718.
- [11] OSOWSKI S., *Sieci neuronowe*, Wyd. Politechniki Warszawskiej, Warszawa 1996, s. 241.
- [12] 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.
- [13] SUPRONIUK M., PAŚ J., *Instalacja energetyczna użytkowana w wybranym budynku — ocena wybranych parametrów technicznych*, Biuletyn Wojskowej Akademii Technicznej, vol. 68, Nr 1, 2019, pp. 165-174, DOI: 10.5604/01.3001.0013.1478.
- [14] KLIMCZAK T., PAŚ J., *Analysis of reliability structures for fire signaling systems in the field of fire safety and hardware requirements*, Journal of KONBIN, t. 46, 2018, pp. 191-214, DOI 10.2478/jok-2018-0030.
- [15] ROŚIŃSKI A., *Reliability analysis of the electronic protection systems with mixed – three branches reliability structure*, in: *Reliability, Risk and Safety. Theory and Applications*, vol. 3, editors: R. Bris, C. Guedes Soares & S. Martorell, CRC Press/Balkema, London, UK, 2010.

S. DUER

**Functional and diagnostic model of a hybrid power system using  
renewable energy sources**

**abstract.** The article presents the issues of building a diagnostic knowledge base regarding a hybrid power system for the needs of the organization of the process of examining the condition of the object. The basis for obtaining diagnostic information about the devices of the hybrid power system is the functional and diagnostic analysis of the tested object. The effect of the building process is a functional and diagnostic structure model, designated sets of basic elements and measuring signals along with the assigned standard measured signals.

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

**DOI:** 10.5604/01.3001.0013.9726