



Struktura systemu ekspertowego Wind Power Plant Expert System (WPPES)

RADOSŁAW DUER¹, STANISŁAW DUER²,
LECH DRAWSKI²

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

² Politechnika Koszalińska, Wydział Mechaniczny, Katedra Energetyki, ul. Raclawicka 15-17,
75-620 Koszalin, stanislaw.duer@tu.koszalin.pl; lech.drawski@tu.koszalin.pl

Streszczenie. W artykule pokazano problematykę wyznaczania informacji diagnostycznej na potrzeby badania stanu urządzeń farmy wiatrowej. W tym celu przedstawiono i opisano istotę struktury inteligentnego systemu ekspertowego. Strukturę badanego obiektu pokazano w postaci modelu funkcjonalno-diagnostycznego. Na podstawie opracowanego modelu wyznaczono informację diagnostyczną w postaci zbioru elementów podstawowych oraz zbioru sygnałów diagnostycznych, które w dalszym etapie są wykorzystane w budowie ekspertowej bazy wiedzy. Bazę taką wyznaczają zbiory faktów oraz reguł wnioskujących. Istotną częścią artykułu jest opis struktury systemu ekspertowego oraz zastosowanej w nim ekspertowej bazy wiedzy.

Słowa kluczowe: farma wiatrowa, energia odnawialna, diagnostyka techniczna, wnioskowanie diagnostyczne, sztuczna inteligencja

DOI: 10.5604/01.3001.0013.9734

1. Wprowadzenie

Istotną rolę w produkcji energii elektrycznej pełni niezawodność elektrowni wiatrowych, który jest bezpośrednim wynikiem ich właściwego stanu technicznego. Dotyczy on głównie procesu kontrolowania prawidłowego stanu funkcjonowania oraz określania przyczyn ewentualnych awarii lub usterek. Powyższe działania realizowane są głównie przez inteligentne systemy nadzoru i bezpieczeństwa użytkownika farmy wiatrowej [5, 7].

Obecnie rozwiązywane są różne aspekty w zakresie pozyskiwania, gromadzenia oraz przetwarzania wiedzy specjalistycznej [1, 2-5, 11-15]. Wiedza ta dotyczy diagnostycznych zbiorów informacji wykorzystywanych przez człowieka-specjalistę jako baza wiedzy przedstawiana w języku komputerowym w celu wykorzystania jej w inteligentnych systemach ekspertowych. Większość z tych obecnie realizowanych prac badawczych dotyczy opisu współpracy pomiędzy człowiekiem a komputerem i odwrotnie. Takie działania występują w systemach inteligentnych, są stosowane w systemach odnawiających cechy obiektów technicznych. Ważnym kierunkiem badań dotyczących organizacji inteligentnych systemów obsługiwanego jest doskonalenie metod przedstawiania i zestawiania baz wiedzy specjalistycznej o obiekcie badania (procesie technologicznym) przez człowieka-eksperta [5-10, 11]. W początkowych opracowaniach wspierających proces obsługiwanego 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 obsługiwanego obiektów technicznych mają zbiory informacji opracowane na bazie modeli lub innych struktur funkcjonalno-diagnostycznych badanych obiektów.

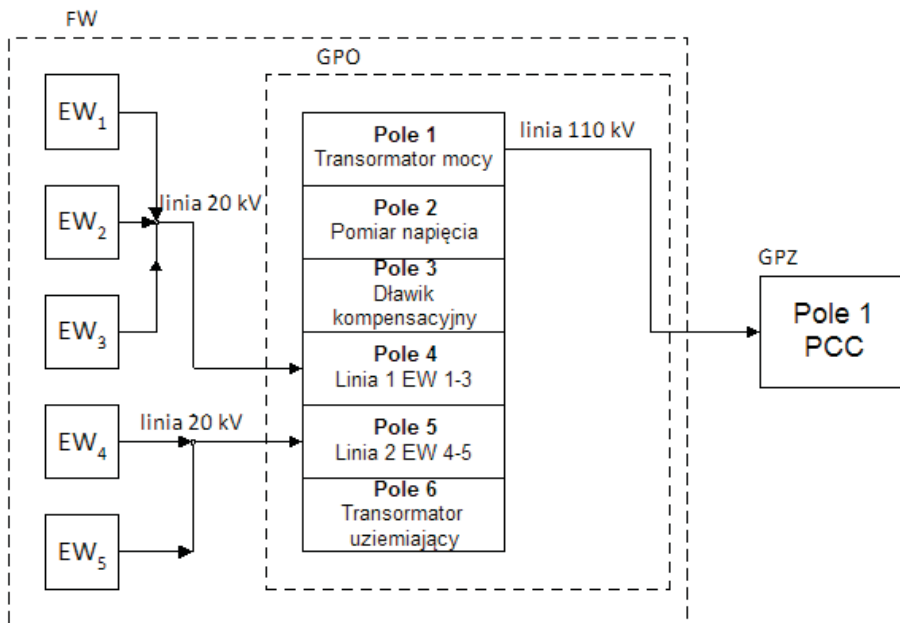
Prowadzone przez autorów badania dotyczące tematyki diagnozowania złożonych obiektów technicznych przyczyniły się do powstania autorskiego komputerowego systemu ekspertowego (WPPES, ang. *Wind Power Plant Expert System*) realizującego proces wnioskowania stanu bezpiecznego użytkowania urządzeń farmy wiatrowej [5, 7]. Na podstawie rzeczywistych danych opracowano zaawansowany model funkcjonalny, w którym zdefiniowano sygnały wejściowe (parametry i ich ograniczenia) dla turbiny i głównego punktu odbioru. Zdefiniowano również dla tych elementów bazę wiedzy w postaci zbioru faktów i reguł używanych w procesie wnioskowania. Realizacja procesu wnioskowania pozwoliła na uzyskanie diagnozy dotyczącej stanu funkcjonalnego farmy wiatrowej (ocena ogólna) i jej poszczególnych elementów (ocena szczegółowa).

W ramach dalszych prac nad programem (WPPES) będą rozwijane następujące zagadnienia:

- zwiększenie stopnia szczegółowości badanego obiektu poprzez rozbudowę modelu funkcjonalno-diagnostycznego, jednocześnie zwiększając liczbę faktów i reguł w bazie wiedzy;
- doskonalenie opisu bazy wiedzy do języka COOL, będącego obiektołą wersją CLIPS-a, co umożliwi równoległe (rozproszone) przetwarzanie procesu wnioskowania dla wielu elektrowni wiatrowych;
- modyfikacja interfejsu użytkownika do postaci aplikacji sieciowej z wykorzystaniem szerokiej gamy technologii webowych opartych na języku programowania Java, tj. JSP, JSTL, JSF itp.

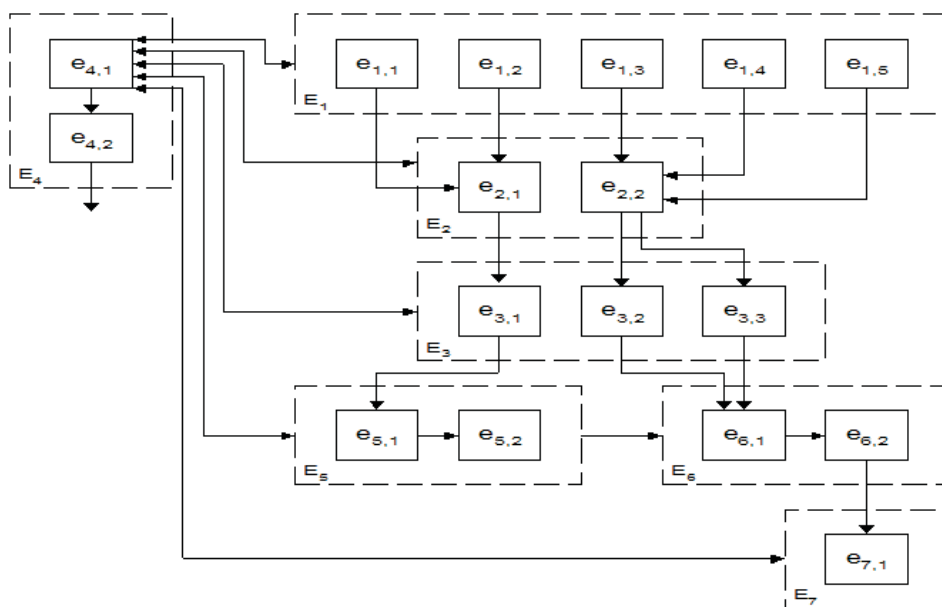
2. Model funkcjonalno-diagnostyczny urządzeń farmy wiatrowej na potrzeby systemu ekspertowego (WPPES)

Dla projektowanego systemu nadzoru i bezpieczeństwa użytkowania farmy wiatrowej opracowano strukturę funkcjonalną farmy wiatrowej wykorzystaną w jego działaniu (rys. 1 i 2). Zaprojektowana baza wiedzy dotyczy farmy wiatrowej składającej się z pięciu elektrowni wiatrowych typu Vestas V90 2.0 MW przyłączonych do Głównego Punktu Odbioru (GPO) za pomocą dwóch linii elektroenergetycznych 20 kV stanowiących wewnętrzną infrastrukturę elektroenergetyczną farmy wiatrowej (rys. 1). Założono zlokalizowanie farmy wiatrowej w województwie zachodniopomorskim, tj. w I strefie energetycznej wiatru w Polsce. Założono stację abonencką GPO w celu wyprowadzenia mocy z farmy wiatrowej [5, 7, 12]. Połączenie pola transformatorowego stacji abonenckiej GPO projektowanej (badanej) farmy wiatrowej z siecią Operatora Systemu Dystrybucyjnego (OSD) w Głównym Punkcie Zasilania (GPZ) przewidziano jako linię kablową. Do transformatora 20/115 kV od strony SN zaplanowano przyłączenie dwóch linii kablowych wyprowadzających moc z elektrowni wiatrowych.



Rys. 1. 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

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 2 przedstawiono odwzorowanie struktury blokowej farmy wiatrowej w opracowanym systemie ekspertowym. Podstawą badań diagnostycznych urządzeń technicznych są modele funkcjonalno-diagnostyczne tych obiektów [1-15]. Stąd na potrzeby tej pracy opracowano schemat funkcjonalno-diagnostyczny systemu farmy wiatrowej (rys. 2).



Rys. 2. 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 do nr 3; E_4 — system pomiarowy i diagnostyki wielkości elektrycznych w poszczególnych elementach farmy wiatrowej; E_5 — dławik kompensacyjny i transformatora potrzeb własnych farmy wiatrowej; E_6 — transformator i rozdzielnia WN, E_7 — główny punkt zasilający

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). Zbiór elementów podstawowych $\{e_{i,j}\}$ w modelu farmy wiatrowej wyznaczających jego strukturę wewnętrzną zaprezentowano w tabeli 1.

TABELA 1

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 do nr 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 [1, 5, 7, 12-15]. Opracowanie to jest szeregiem działań i czynności techniczno-technologicznych, a także analitycznych. Efektem 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) zobrazowane na schemacie funkcjonalno-diagnostycznym przedstawionym na rysunku 2 „adresowane” — numerowane są w następujący sposób: (E_i) jest 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 2 był także podstawą 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 zostały zidentyfikowane na wyjściach j-tych elementów funkcjonalnych. Wyznaczony zbiór sygnałów diagnostycznych $\{X(e_{i,j})\}$ zaprezentowano w tabelicy 2.

Wyznaczony w procesie budowania diagnostycznej bazy wiedzy zbiór sygnałów diagnostycznych $\{X(e_{i,j})\}$ oraz zbiór elementów podstawowych $\{e_{i,j}\}$ w modelu farmy wiatrowej, wyznaczających jej strukturę wewnętrzną, to podstawa do budowy ekspertowej bazy wiedzy.

TABELA 2

Zbiór sygnałów diagnostycznych w obiekcie

Zespoły obiektu	Zbiór sygnałów diagnostycznych w modelu farmy wiatrowej $\{X(e_{ij})\}$				
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

3. Baza wiedzy w ekspertowym systemie (WPPES) do nadzoru i bezpieczeństwa użytkowania farmy wiatrowej

Ekspertową bazą wiedzy (ang. *Expert Knowledge Base*) określamy zbiór informacji — wiedzę dotyczącą danej dziedziny odseparowaną od reszty systemu. Zawiera ona zbiór faktów opisujących dane i parametry wejściowe, a także zbiór reguł przedstawiających zależności między tymi faktami [7].

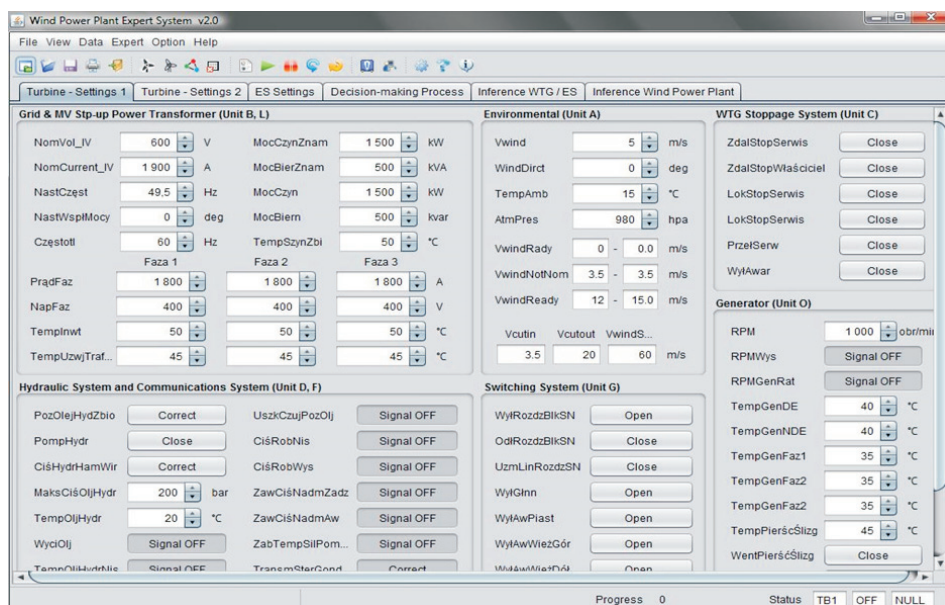
Opracowane modele funkcjonalno-diagnostyczne urządzeń farmy wiatrowej i GPO przedstawione na rysunkach 1 i 2 pozwoliły na wyodrębnienie podstawowych bloków grupujących parametry poszczególnych komponentów, urządzeń i zespołów. Dla pojedynczej elektrowni wiatrowej (turbiny) zdefiniowano **16 bloków oznakowanych A-P**, dla których utworzono **224 fakty i 258 reguł**. Analogicznie dla GPO zdefiniowano **6 bloków Q-W**, **96 faktów i 135 reguł**. Dodatkowo utworzono stałe zbiory faktów dla wartości domyślnych oraz kilku przykładowych wariantów działania farmy wiatrowej. Całą opisywaną bazę wiedzy umieszczono w oddzielnych plikach zgodnych ze składnią języka CLIPS, a mianowicie:

- **facts.clp** — plik zawierający zbiory faktów wartości domyślnych parametrów i kilku przykładowych wariantów działania farmy wiatrowej,
- **gpo.clp** — plik zawierający zbiór reguł dla wszystkich bloków GPO oraz dodatkowe reguły określające stan wyjściowy obiektu,
- **turbine.clp** — plik zawierający zbiór reguł dla wszystkich bloków elektrowni wiatrowej oraz dodatkowe reguły określające stan wyjściowy obiektu,
- **windfarm.clp** — plik zawierający szablony i funkcje określające stan pracy farmy wiatrowej oraz reguły pomocnicze, np. regułę startową (inicjującą).

Podział wiedzy na tematyczne części umieszczone w zewnętrznych plikach pozwolił uzyskać dużą czytelność oraz możliwość łatwej edycji. W każdej grupie faktów dotyczących elektrowni wiatrowej i GPO zawarto od kilku do kilkunastu

parametrów, których liczba jest uzależniona od funkcji i liczby urządzeń wchodzących w skład danego bloku. Parametry te, podzielone na grupy, dostępne są w trzech pierwszych panelach opisujących ustawienia elektrowni wiatrowych i GPO, co przedstawiono na rysunkach 3 i 4.

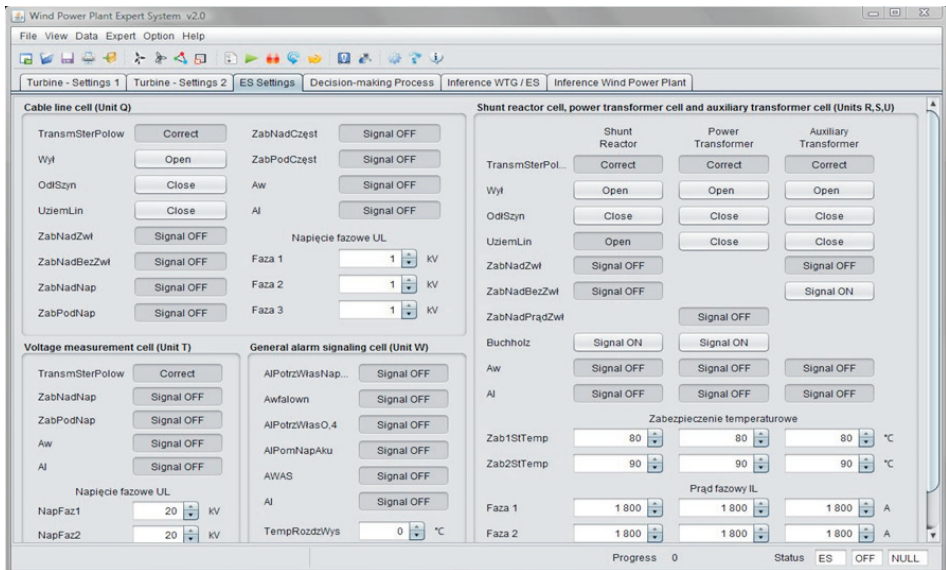
Moduł Turbine Settings 1-2 (rys. 3) — zawiera w sobie dwa panele dotyczące wprowadzania wartości wejściowych i parametrów elektrowni wiatrowych (turbiny). Dane wejściowe reprezentują „fakty” w procesie wnioskowania i mają postać wartości liczbowych, np. prędkość wiatru, lub wartości logicznych, np. włączony/wyłączony. Wszystkie dane pogrupowane są w oddzielne bloki określone w modelu funkcjonalno-diagnostycznym na rysunku 3.



Rys. 3. Pierwszy z dwóch paneli zawierających ustawienia wartości wejściowych i parametrów roboczych dla elektrowni wiatrowej (turbiny)

Na rysunku 4 przedstawiono moduł programu (WPPES) „ES Settings”. Umożliwia on wprowadzanie (ustawienie) wartości wejściowych i parametrów dla poszczególnych bloków Głównego Punktu Odbioru GPO (ES — ang. *Electrical Substation*).

W każdym bloku oprócz rzeczywistych parametrów zdefiniowano również po trzy parametry rezerwowe, którym nie przypisano żadnych wartości (własności). Przyjęcie takich parametrów było podyktowane zapewnieniem możliwości dalszej rozbudowy systemu ekspertowego. Przykładowo, dla bloku A — środowisko i warunki zewnętrzne — określono trzynaście parametrów, w tym trzy parametry rezerwowe: PA011, PA012, PA013. Pozostałe parametry reprezentujące wartości zmienne i stałe określono symbolami od PA001 do PA010 i przedstawiono w [5].



Rys. 4. Panel zawierający ustawienia wartości wejściowych i parametrów roboczych dla stacji elektroenergetycznej GPO (ES — ang. *Electrical Substation*)

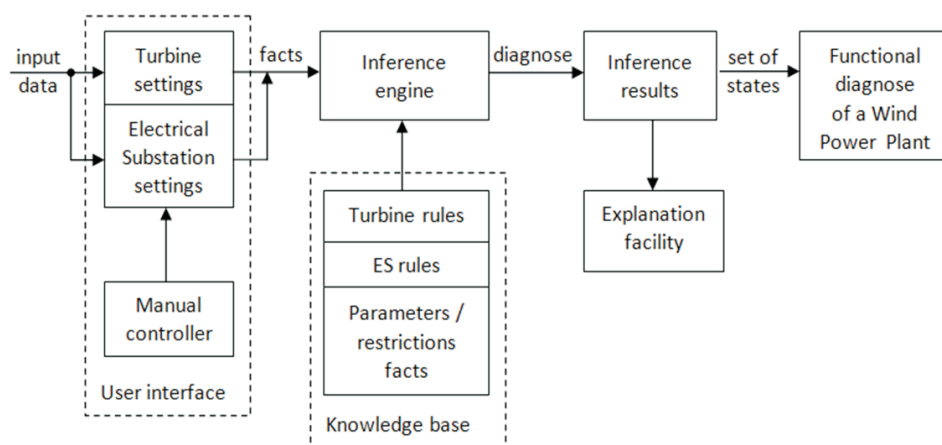
W celu uzyskania charakterystycznych wartości dla każdego faktu opracowano trzynaście kategorii, według których zdefiniowano poszczególne fakty. Kategorie określają między innymi: obiekt, napięcie, kierunek, blok, rodzaj, symbol, skrót, jednostkę, stan, wartość domyślną, minimalną i maksymalną. Wszystkie fakty i reguły opisane według powyższych kategorii umieszczone są w tabeli dostępnej w źródle [5]. Na rysunkach 3 i 4 można zauważyć, że parametry rezerwowe dla bloków elektrowni wiatrowej oraz GPO zostały pominięte.

W procesie implementacji bazy wiedzy w języku CLIPS przyjęto wspólną, pięciodzianową symbolikę zarówno dla faktów, jak i reguł. Pierwszy znak symbolu wskazuje na fakt, gdy przyjmuje literę P lub regułę w przypadku wystąpienia litery R. Następny znak określa numer bloku, do którego należy dany fakt lub reguła. Ostatnia część to trzycyfrowy numer przypisany do danego parametru. Dodatkowo symbol rozszerzany jest jeszcze o identyfikator z numerem elektrowni wiatrowej lub GPO umieszczany na początku jako *prefix*. Ponieważ nazwy bloków w różnych elementach farmy wiatrowej nie powtarzają się, więc można w jednoznacznie określić, z jakim typem elementu mamy do czynienia. W przypadku wystąpienia symbolu WTG01RB003 wiemy, że wskazuje on na trzecią regułę bloku B w turbinie o numerze 1. Reguła ta oznacza pojawienie się sygnału zatrzymania pracy turbiny z powodu zbyt wysokiej temperatury szyn zbiorczych.

4. Struktura systemu ekspertowego WPPES (Wind Power Plant Expert System)

Komputerowy system ekspertowy WPPES (*Wind Power Plant Expert System*) jest programem typu „stand-alone” z interfejsem graficznym (GUI) utworzonym w popularnym obiektowym języku programowania Java [6] (rys. 5). Zastosowanie języka Java oraz potrzebnej do uruchomienia aplikacji maszyny wirtualnej (JVM) pozwoliło uzyskać niezależność od systemu operacyjnego. Ma to znaczenie głównie w środowiskach naukowych, gdzie wykorzystuje się wiele mniej znanych i popularnych systemów operacyjnych. Mimo że JVM jest pośrednim środowiskiem uruchomieniowym, to etapowy charakter działania programu nie wpływa znacząco na wydajność w stosunku do aplikacji utworzonej w językach natywnych.

Wykorzystanie języka Java oprócz niezależności od systemu operacyjnego pozwala na realizację w przyszłości dwóch istotnych celów, a mianowicie: na łatwą modyfikację i rozbudowę programu oraz dostęp do szerokiej gamy bibliotek tworzonych dla tego języka.



Rys. 5. Struktura systemu ekspertowego (WPPES — ang. *Wind Power Plant Expert System*)

W pierwszym przypadku możemy wykorzystać platformę Java Enterprise Edition do rozbudowy aplikacji do postaci programu sieciowego o dowolnej architekturze, tj. klient-serwer, wielowarstwowej lub nawet rozproszonej. Takie podejście pozwoliłoby na odseparowanie warstwy prezentacji (interfejsu użytkownika) od warstwy obliczeń realizowanych zwykle na wydajniejszych hostach. Dodatkowo w rozproszonej architekturze możemy zrealizować dekompozycję procesu wnioskowania, zmniejszając czas jego realizacji zwłaszcza dla dużej liczby elektrowni wiatrowych.

W drugim przypadku dostęp do odpowiedniej biblioteki jest również bardzo istotny i nie zawsze możliwy ze względu na prawa licencyjne. Dlatego możliwość

migracji na nowsze wersje lub alternatywne biblioteki jest jedną z ważniejszych cech języka Java. W omawianej aplikacji do realizacji procesu wnioskowania wykorzystano darmową natywną bibliotekę CLIPSJNI z wbudowanym interfejsem JNI do komunikacji z metodami natywnymi. Biblioteka ta oparta jest na języku CLIPS (ang. *C Language Integrated Production System*) [5, 7] opracowanym przez NASA do tworzenia systemów ekspertowych. Mechanizmy wewnętrzne języka realizują wnioskowanie w przód, a program napisany w języku CLIPS stanowi bazę wiedzy złożoną z faktów i reguł. Fakty określają dane pomiarowe i parametry wejściowe, a reguły wiedzę eksperta. Maszyna wnioskująca, zwana również interpretatorem reguł, powoduje przeglądanie zestawu reguł i wykonywanie tych, które odpowiadają faktom istniejącym w bazie wiedzy.

Zakres funkcjonowania aplikacji wspomagającej diagnozowanie (rys. 5) oparty jest na kilku etapach zawartych w występujących po sobie panelach (zakładkach), a mianowicie:

- **Turbine Settings 1-2** — określają dwa panele zawierające ustawienia wartości wejściowych i parametrów elektrowni wiatrowych (turbin). Dane wejściowe reprezentują fakty w procesie wnioskowania i mają postać danych liczbowych, np. prędkość wiatru, lub wartości logicznych — np. włączony/wyłączony. Wszystkie dane pogrupowane są w oddzielne bloki określone w modelu funkcjonalno-diagnostycznym.
- **ES Settings** — określa panel zawierający ustawienia wartości wejściowych i parametrów dla poszczególnych bloków Głównego Punktu Odbioru GPO (ang. *Electrical Substation*).
- **Decision-making Process** — panel realizujący przebieg procesu decyzyjnego wspomagającego diagnozowanie farmy wiatrowej. Oprócz opcji sterowania procesem udostępnia funkcję informacyjną o poszczególnych etapach dotyczących inicjacji bazy wiedzy i realizacji procesu wnioskowania, aż do uzyskania diagnozy.
- **Inference WTG/ES** — panel zawierający rezultat diagnostyczny uzyskany w procesie wnioskowania dla elektrowni wiatrowych i GPO. Zawiera graficzną prezentację stanu działania poszczególnych zespołów farmy wiatrowej, występujące w nich sygnały oraz szczegółową diagnozę przyczyn ich wystąpienia.
- **Inference Wind Power Plant** — panel zawierający rezultat procesu wnioskowania uzyskany dla farmy wiatrowej. Określany jako panel zbiorczy przedstawiający stan działania całej farmy (diagnoza ogólna), jak i jej poszczególnych elementów (diagnoza szczegółowa).

Zastosowanie paneli w interfejsie obsługi użytkownika pozwoliło na uzyskanie dużej czytelności programu oraz intuicyjności w przebiegu procesu wspomagania diagnostycznego. Sekwencyjna zależność występująca między panelami określa jednoznaczny ścieżkę postępowania w przypadku przerwania lub ponownego wywołania procesu wnioskowania.

Wszystkim elementom ze zbioru stanów pracy przyporządkowano odpowiedni poziom ważności, tzw. priorytet. Wartość minimalną przypisano do poprawnego działania (*Run*), a maksymalną do stanu awarii (*Failure*). Dlatego przy określaniu stanu pracy elektrowni wiatrowej lub GPO decyduje blok o najwyższym prioryecie.

5. Podsumowanie

W artykule zaprezentowano opis struktury systemu ekspertowego (WPPES) wspomagającego diagnozowanie urządzeń farmy wiatrowej. System ekspertowy wypracowuje ocenę stanu działania poszczególnych elementów farmy wiatrowej w oparciu o dane wejściowe i utworzoną bazę wiedzy. Otrzymanie diagnozy i realizacja procesu wnioskowania odbywa się w sposób ciągły poprzez realizację zastosowanej w nim metody wnioskowania. Wykorzystanie interfejsu graficznego umożliwia szybki wgląd w stan pracy wszystkich elementów farmy wiatrowej w ramach oceny zbiorczej (ogólnej). W ocenie szczegółowej każdy element farmy prezentuje stany działania wszystkich podzespołów (bloków) oraz przyczyny wystąpienia sygnału alarmu lub awarii. Oparta na rzeczywistych pomiarach baza danych i rozbudowana baza wiedzy pozwala uzyskać wiarygodną diagnozę stanu funkcjonowania urządzeń farmy wiatrowej. Sytuacja taka powoduje, że opisywany system ekspertowy może być z powodzeniem wykorzystywany jako część inteligentnego systemu nadzoru i bezpieczeństwa użytkowania farmy wiatrowej.

Poprzez zastosowanie technologii języka Java oraz mechanizmów hermetyzacji w procesie implementacji uzyskano możliwość edycji i łatwej rozbudowy praktycznie każdego aspektu systemu (WPPES).

Praca finansowana z Projektu Badawczego Statutowego Politechniki Koszalińskiej nr 504.02.33.

Artykuł wpłynął do redakcji 31.10.2019 r. Zweryfikowaną wersję po recenzjach otrzymano 6.11.2019 r.

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

LITERATURA

- [1] BĘDKOWSKI L., DĄBROWSKI T., *Podstawy eksploatacji*, cz. 2, WAT, Warszawa 2006, s. 187.
- [2] DUER S., *Inteligentny system wspomagający proces odnawiania cech eksploatacyjnych w złożonych obiektach technicznych*, Wydawnictwo Uczelniane Politechniki Koszalińskiej, Koszalin 2012, s. 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, vol. 21, no. 1, 2012, pp. 153-160.
- [4] 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, DOI: 10.5604/12345865.1210605.

- [5] 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.
- [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] 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.
- [8] 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, DOI: 10.5604/01.3001.0009.9485.
- [9] DUER S., *Wnioskowanie diagnostyczne o stanie obiektu technicznego w logice k-wartościowej*, Biuletyn Wojskowej Akademii Technicznej, vol. 66, nr 1, 2017, s. 115-126, DOI: 10.5604/01.3001.0009.9488.
- [10] DUER R., DUER S., *Informacja diagnostyczna z obiektu technicznego wykorzystana do tworzenia ekspertowej bazy wiedzy*, Biuletyn Wojskowej Akademii Technicznej, vol. 66, nr 2, 2017, s. 91-106, DOI: 10.5604/01.3001.0010.1892.
- [11] DHILLON B.S., *Applied Reliability and Quality, Fundamentals, Methods and Procedures*, Springer – Verlag London Limited, 2006, p. 186.
- [12] Instrukcja obsługi siłowni wiatrowej Nordex klasy K08 gamma.
- [13] 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.
- [14] 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.
- [15] ROSIŃSKI A., *Reliability analysis of the electronic protection systems with mixed – three branches reliability structure. Reliability, Risk and Safety, Theory and Applications*, vol. 3, eds.: R. Bris, C. Guedes Soares & S. Martorell, CRC Press/Balkema, London, UK 2010.

R. DUER, S. DUER, L. DRAWSKI

Knowledge base for wind farm devices in the computer expert system

Abstract. The article presents the issue of determining diagnostic information for the needs of testing the condition of wind farm equipment. To this end, the essence of the structure of an intelligent expert system was presented and described. The structure of the tested object is shown in the form of a functional and diagnostic model. Based on the developed model of the examined object, diagnostic information was determined in the form of a set of basic elements and a set of diagnostic signals, which are later used in the construction of an expert knowledge base. The expert knowledge base is determined by sets of facts and rules applied. An important part of this article is description of the structure of the expert system and the expert knowledge base used in it.

Keywords: wind farm, renewable energy, technical diagnostics, diagnostic inference, artificial intelligence
DOI: 10.5604/01.3001.0013.9734