



Budowa programu lokalizacji uszkodzeń na podstawie „drzewa decyzji”

PRZEMYSŁAW DUER¹, STANISŁAW DUER¹, PAWEŁ WRZESIEŃ²

¹ Politechnika Koszalińska, Wydział Mechaniczny, ul. Raclawicka 15-17,
75-620 Koszalin, e-mail: stanislaw.duer@tu.koszalin.pl

² Vortex Energy Polska sp. z o.o, Plac Rodła 8, 70-419 Szczecin,
e-mail: p.wrzesien@vortex-energy.pl

Streszczenie. W artykule zaprezentowano problematykę budowania programu lokalizacji uszkodzeń w obiekcie technicznym na podstawie teorii „drzewa decyzji”. Podstawą w takim procesie podejmowania decyzji jest analiza funkcjonalno-diagnostyczna badanego urządzenia technicznego. Efektem tego procesu analizy jest wyznaczony zbiór elementów podstawowych (funkcjonalnych) wraz z przypisanym im zbiorem współczynników wagowych. Rozwinięciem teorii „drzewa decyzji” w procesie lokalizacji uszkodzeń w badanym układzie zasilania elektrycznego pojazdu jest opracowany algorytm lokalizacji uszkodzeń.

Słowa kluczowe: diagnostyka techniczna, wnioskowanie diagnostyczne, sztuczna inteligencja.

DOI: 10.5604/01.3001.0013.3009

1. Wstęp

W literaturze szeroko są przedstawione inteligentne systemy wspomagające. Stosuje się je w nadzorowaniu oraz w organizacji procesów techniczno-technologicznych, w aspekcie ich diagnozowania oraz przy ocenie jakościowej. Systemy te są szczególnie przydatne, gdy analizuje się wiele zmiennych oraz wymagane jest uwzględnienie złożonych czynników oddziałujących na nie, dotyczących: stanu technicznego urządzeń technicznych, narzędzi, środków produkcji oraz doboru warunków i parametrów procesu. Ważne osiągnięcia można znaleźć w następujących pracach [1, 2-8, 11-18]. Opracowane w nich koncepcje i szczegółowe systemy złożone z wielu wyspecjalizowanych modułów dotyczą przede wszystkim inteligentnych,

kompleksowych systemów nadzorowania procesów technologicznych, w tym procesów obsługowych. Są to między innymi opracowania W. Kacalaka i innych [9-10], w których opisano podstawy zastosowania systemów inteligentnych w rozwiązywaniu różnego typu problemów techniczno-technologicznych i wspomaganiu procesów organizacji. Ważnym osiągnięciem zaprezentowanym w tych pracach jest opis sposobów przekształcania wiedzy człowieka-specjalisty do postaci wiedzy wyrażanej w języku programowania komputerowego. Do tej grupy opracowań należą także prace autora [2-5, 7, 9, 18]. W literaturze dotyczącej organizacji systemów inteligentnych znane jest podejście wykorzystania klasyfikatora opartego na drzewach decyzyjnych w procesie wnioskowania [2, 4]. Klasyfikator tego typu został zdefiniowany przez J. Rossa Quinlana w 1979 roku. Metoda ta polega na podziale przestrzeni cech decyzyjnych granicami równoległymi do wyznaczonej przestrzeni decyzyjnej w układzie współrzędnych decyzyjnych. Granice optymalności decyzji w procesie wnioskowania są wyznaczane przez sekwencyjne lub liniowe ustalanie progów (podziału) dla poszczególnych cech wnioskowania. Celem końcowym jest opracowanie drzewa „ścieżki-drogi”, które dobrze klasyfikowałoby również obiekty nieznanne, „nowe”, nieznanne znajdujące się jeszcze w ciągu uczyć.

W artykule zaprezentowano problematykę wnioskowania w budowie algorytmu lokalizacji uszkodzeń w obiekcie technicznym. Wykorzystany sposób wnioskowania oparty jest na metodzie klasyfikacji na bazie informacji o strukturze drzewa decyzyjnego.

2. Wykorzystanie „drzewa decyzyjnego” w budowie diagnostycznej bazy wiedzy

W ostatnich latach powstało wiele nowych podejść do problemu diagnozowania obiektu, szczególnie w aspekcie lokalizowania uszkodzeń (niezdatności) w obiekcie przy wykorzystaniu systemów ekspertowych. W tych systemach rozbudowane są bazy wiedzy eksperckiej funkcjonujące na podstawie sformalizowanych języków wiedzy [5, 8, 9, 11]. Proponowana metoda lokalizowania uszkodzeń wykorzystuje wiedzę eksperta i należy do grupy metod hierarchicznego diagnozowania obiektu. Metoda ta wymaga przeprowadzenia analizy funkcjonalno-diagnostycznej obiektu, rozpoczynając z najwyższego poziomu (obiekt), a kończąc aż na najniższym jego poziomie, w którym wyróżnia się element funkcjonalny (moduł). Oczekiwaniem proponowanej metody jest wyznaczenie funkcji, która odzwierciedli aktualny stan zdatności diagnozowanego obiektu lub w przypadku jego niezdatności zlokalizuje uszkodzony element, który generuje stan niezdatności obiektu w postaci logicznych stwierdzeń „**PRAWDA lub FAŁSZ**”. Podstawą wypracowania przez eksperta tych orzeczeń jest opisanie nazwy współzależności pomiędzy wyróżnionymi zespołami (elementami) a przypisanymi im argumentami (objawami). Język formalny metody

bazuje na orzeczeniach opisywanych zespołów, podzespołów i elementów funkcjonalnych poprzez ich nazwanie (orzeczenie nazwy) oraz opisanie — ocenę stanu ich aktualnej pracy, którymi są oznaczenie argumentów. Język formalny metody diagnozowania składa się z dwóch słowników: końcowego (M) i pośredniego (P). Oba słowniki języka metody składają się ze słów zwanych symbolami. Słownik wiedzy końcowej zawiera symbole reprezentujące symptomy (objawy) zarejestrowane na wyjściu lub wyznaczone w inny sposób, np. na różnicy cech sygnałów diagnostycznych i ich sygnałów wzorcowych itp. Słownik wiedzy końcowej $\{K\}$ w postaci ogólnej przedstawia zależność:

$$K = \{K_1, K_2, \dots, K_i, \dots, K_I\}, \text{ gdzie: } i = \overline{1, I}, \quad (1)$$

gdzie: K_i — symptom orzekający o stanie użytkowania (funkcjonowania) i -tego zespołu obiektu;

I — liczba wyróżnionych zespołów w diagnozowanym obiekcie.

Jeżeli na bazie binarnych wartości stanów elementów podstawowych obiektu wyznaczonych na podstawie symptomów występujących w obiekcie nie da się przeprowadzić rozróżnialności niezdatności, to wówczas należy stosować inny tok postępowania. Macierz $[Z]$ należy przekształcić w ten sposób, że każdy element $Z_{i,j}(e_{i,j})$ tej macierzy (tablicy) zostanie opisany przy wykorzystaniu zależności:

$$z(e_{i,j}) = \begin{cases} 0 & \text{dla stanów } \{2, 1\} \\ 1 & \text{dla stanów } \{0\} \end{cases} \quad (2)$$

gdzie: $Z_{i,j}(e_{i,j})$ — z -ta wartość binarna stanu porównania $\{0, 1\}$ j -tego elementu w i -tym zespole obiektu.

Po przekształceniu należy przyjąć dodatkowe warstwy sygnałów symptomowych w celu dokładniejszej analizy nierozróżnialnych stanów. Każdy element przekształconej informacji opisany jest wielkością binarną wyrażającą związek z prawdopodobieństwem rozróżnienia danego wzoru niezdatności. Ta postać informacji nazywana jest tablicą wiedzy pośredniej (P). W pracy przyjęto założenie, że pojęcia **symptom i objaw** są równoznaczne. Słownik terminów (wiedzy pośredniej (P)) zawiera symbole, które reprezentują obiekt na niższych poziomach analizy diagnostycznej, a zatem słownik ten opisuje zachowanie funkcjonalne podzespołów i elementów konstrukcyjnych (funkcjonalnych) dla danego nierozpoznanego stanu. Proces budowania wiedzy eksperckiej jest zadaniem trudnym, gdyż wymaga zapisu czynności postępowania eksperta oraz uzyskania w toku jego postępowania wiadomości, które należy przekształcić na język wiedzy formalnej (zrozumiałej

przez komputer). Postępowanie eksperta jest opisane przez następujący schemat czynności. Zdanie inicjujące (*element, zespół, obiekt – funkcjonowania obiektu*) przekształcono w zdanie końcowe (*objawy, symptomy = wartość sygnatur zaistnienia tego zdarzenia* $\{w_q(d_{i,j})\}$), które opisuje poprawność funkcjonowania (obiektu, zespołu itd.) według zależności:

$$M_N = \{M(e_{i,j}) \rightarrow S_k(e_{i,j}), k = \overline{1, K}\}, \quad (3)$$

gdzie: k — to liczba warstw w symptomie S dla danego uszkodzenia. Przy czym k przyjmuje wartości ze zbioru liczb całkowitych $k \in \{0; 2; 3; 4; \dots; k\}$ i jest k -tym wierszem w macierzy $[M_N]$ przedstawionej zależnością.

Zdanie inicjujące zwane też symptodem początkowym (S) reprezentuje zbiór objawów wyróżniających (opisujących) uszkodzony element. Zdań w tak opracowanym zbiorze wiedzy jest tyle, ile jest elementów funkcjonalnych (e_j) w obiekcie. W związku z tym problem opracowania wiedzy ekspertowej dla obiektów technicznych złożonych staje się zadaniem trudnym. Opracowywanie hierarchicznej wiedzy ekspertowej wykorzystywanej w procesie lokalizacji uszkodzeń na przykładzie wybranego urządzenia opisano zależnością:

$$\begin{aligned} P = \{ & \langle element_i / (działanie) \rightarrow symptom = (w_i) \rangle; \dots \\ & \dots \langle element_j / (działanie) \rightarrow symptom(w_j) \rangle; \dots \\ & \dots \langle element_j / (działanie) \rightarrow symptom(w_j) \rangle; \langle \\ & ; \langle podzespol_1 / (działanie) \rightarrow symptom = (w_1) \rangle; \dots \\ & \dots \langle podzespol_j / (działanie) \rightarrow symptom(w_j) \rangle; \dots \\ & \dots \langle podzespol_j / (działanie) \rightarrow symptom(w_j) \rangle; \\ & ; \langle zespol_1 / (działanie) \rightarrow symptom = (w_1) \rangle; \dots \\ & \dots \langle zespol_i / (działanie) \rightarrow symptom(w_i) \rangle; \dots \\ & \dots \langle zespol_i / (działanie) \rightarrow symptom(w_i) \rangle; \\ & \langle obiekt(O) / (działanie) \rightarrow symptom(w_o) \rangle \} = \{w_q(d_{i,j})\} \end{aligned} \quad (4)$$

Wyznaczony przez eksperta słownik terminów pośrednich dla wszystkich stanów obiektu w dalszym etapie uszczegółowienia informacji należy zestawić w postaci następującej zależności:

$$M = \{M(d_{i,j})\} = \begin{cases} z(e_{i,j}) & \text{dla } z(e_{i,j}) = 0 \\ (x; w_q(d_{i,j})) & \text{dla } z(e_{i,j}) = \{0, 1\} \end{cases} \quad (5)$$

Przy czym $w_q(d_{i,j})$ przyjmuje wartości ze zbioru przedstawionego jako zależność (5),

gdzie: $w_q(d_{i,j}) \in \langle 0,1 \rangle$ odpowiadających wartości binarnej danego symptomu. Dla

danego symptomu słuszna jest zależność $\sum_{i=1, j=1}^{I, J} w_q(d_{i,j}) = 1$. Końcowym etapem pracy

eksperta jest łączne przedstawienie słowników wiedzy końcowej M i pośredniej P , w wyniku czego powstaje słownik wiedzy proponowanej metody. Wykorzystując zależności (4) i (5), zestawiono macierz typów uszkodzeń odpowiadających wybranemu poziomowi badanego symptomu $[M(E_i)]$, np. dla zespołu E_i dla czterech poziomów diagnostycznych badanego symptomu przedstawiono w postaci zależności

$$M(E_i) = \begin{bmatrix} 0 & \dots & 0 & \dots & 0 \\ \vdots & \dots & \vdots & \dots & \vdots \\ (x; w_q(d_{1,j})) & \dots & (x; w_q(d_{1,j})) & \dots & (x; w_q(d_{1,j})) \\ \vdots & \dots & \vdots & \dots & \vdots \\ 0 & \dots & (x; w_q(d_{I,j})) & \dots & (x; w_q(d_{I,j})) \end{bmatrix} \quad (6)$$

Optymalizacja programu lokalizacji uszkodzeń polega na ustawieniu sygnatur $w_q(d_{i,j})$ zawartych w macierzy (6), w wyniku czego uzyskuje się zbiór końcowych decyzji wybranych w $(q-1)$ krokach decyzyjnych. Proces optymalizacji informacji diagnostycznej opisuje zależność

$$\forall_{q=1, Q} w_q(d_{i,j}) = \max_{i: d_i \in (D/D_{q-1})} w_q(d_{i,j}), \quad (7)$$

gdzie: d_{iq} — decyzja eksperta ustawiona na q -tym poziomie decyzyjnym;

D_{q-1} — podzbiór możliwych decyzji wybranych w $(q-1)$ krokach decyzyjnych.

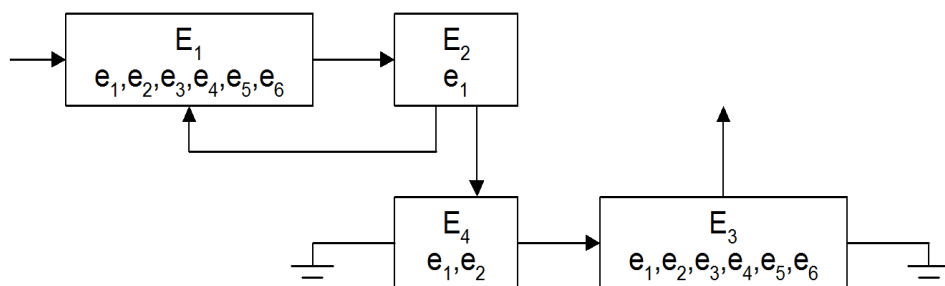
W wyniku poddania macierzy diagnostycznej (6) procesowi optymalizacji uzyskuje się odpowiednio uporządkowany program lokalizacji uszkodzeń. Zminimalizowany zbiór możliwych decyzji zapewnia rozróżnienie wszystkich możliwych wzorów niezdatności elementów, a także zlokalizowanie każdego niezdatnego elementu w obiekcie.

3. Program lokalizacji niezdatności w układzie zasilania elektrycznego pojazdu samochodowego

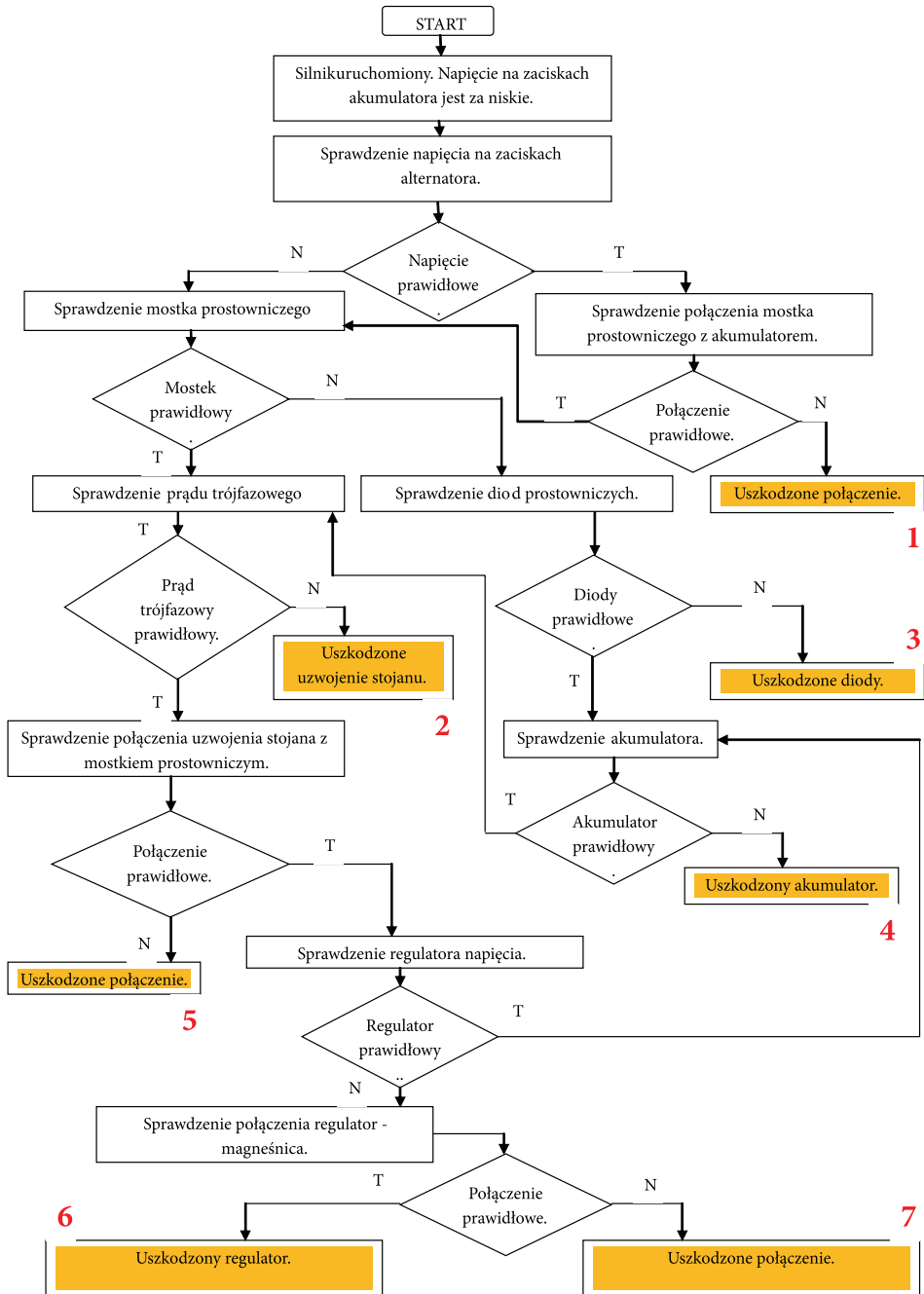
Dzięki wykonaniu mniej lub bardziej złożonych badań diagnostycznych następuje zidentyfikowanie stanu obiektu technicznego. Jeżeli mamy do czynienia z bardzo złożonym obiektem, to jego diagnoza jest trudniejsza, kosztowniejsza i dużo bardziej pracochłonna. W celu uzyskania optymalnych wyników procesu należy korzystać z matematycznych metod opisu oraz analizy procesu diagnozowania.

Przed przystąpieniem do diagnozowania obiektu przez badającego charakteryzuje się pełną nieokreśloność stanu. Wyniki sprawdzeń zależą przede wszystkim od stanu, w jakim obiekt się znajduje. Aby zmniejszyć nieokreśloność stanu, można zastosować realizację procesu diagnozy polegającą na wykonaniu sprawdzenia i analizy ich wyników. Przyjmujemy, że dla każdego sprawdzenia przyporządkowujemy określony zbiór wyników. Konkretny wynik tego sprawdzenia zależy od stanu obiektu w chwili badania. Badając obiekt, możemy otrzymać identyczny wynik sprawdzenia dla różnych stanów tego obiektu. Po otrzymaniu poszczególnego wyniku sprawdzenia nie możemy jednoznacznie określić stanu obiektu, lecz możemy wyodrębnić podzbiór stanów. Każdy otrzymany podzbiór możemy podzielić na kolejne, aż otrzymamy jednoelementowy podzbiór, który umożliwi rozpoznanie dowolnego stanu obiektu. W dotychczasowej praktyce przyjmujemy, że występują dwa rodzaje wyników sprawdzenia: pozytywny i negatywny, co znacznie uprościło model procesu.

Organizacja badania diagnostycznego złożonych obiektów jest bardzo pracochłonna i skomplikowana. Sposób przeprowadzania badań, a w szczególności program tych badań dla określonych obiektów, powinien być przygotowany dużo wcześniej i dopiero wtedy podany personelowi w prostej do realizacji postaci. Program diagnozowania to algorytm planowanego przebiegu procesu diagnozowania. Inaczej jest to zapis uporządkowany sprawdzeń zbioru, który ma ułatwić sformułowanie diagnozy (rys. 1 i 2).



Rys. 1. Schemat funkcjonalno-diagnostyczny układu zasilania elektrycznego pojazdu, gdzie: E₁ – alternator: e₁ – uzwojenie alternatora, e₂ – diody (+), e₃ – diody (-), e₄ – stabilizator, e₅ – szczotkotrzynacz, e₆ – połączenie z akumulatorem, E₂ – akumulator, E₃ – odbiorniki: e₁ – rozrusznik, e₂ – pompa paliwa, e₃ – pompa wody, e₄ – klimatyzacja, e₅ – oświetlenie, e₆ – inne odbiorniki energii, E₄ – sterownik: e₁ – sterownik, e₂ – przekaźnik główny



Rys. 2. Program lokalizacji uszkodzeń w układzie zasilania elektrycznego pojazdu

Opracowany algorytm postępowania diagnosty w procesie lokalizacji niesprawności przedstawiono na rysunku 2. W schemacie na rysunku 2 zawarte są wszystkie czynności postępowania diagnosty, w tym czynności sprawdzające, decyzje co do dalszego postępowania oraz wnioski określające kolejne działania w przyszłości. Efektem graficznego przedstawienia schematu czynności specjalisty w toku lokalizacji niesprawności jest wyróżniony możliwy zbiór uszkodzeń, który mógł zaistnieć w tej konkretnej sytuacji.

Programem diagnozowania nazywamy uporządkowany zbiór sprawdzeń różniących się liczebnością, kombinacją czy kolejnością. Przebieg badania diagnostycznego jest procesem losowym i dla określonego obiektu może przyjmować różną postać zależnie od stanu, w jakim w chwili badania znajduje się obiekt.

Wyznaczenie programu diagnozowania określane jest w literaturze [2, 3] jako proces wyboru określonej procedury decyzyjnej, jaką jest określenie stanu obiektu.

Planowaniem diagnostycznym nazywamy proces diagnozowania, *dzięki któremu wyznacza się program badania stanu w obiekcie, natomiast realizacja procesu diagnozowania przebiega według wyznaczonego programu.* W diagnostyce wyróżniamy dwa rodzaje programów, w tym:

- a) program stały — charakteryzuje się określonym ciągiem sprawdzeń, który realizowany jest niezależnie od otrzymanych wyników,
- b) program sekwencyjny — wykonanie założonego ciągu sprawdzeń zostaje przerwane, gdy na podstawie bieżącej analizy wyników następuje identyfikacja stanu obiektu.

Program lokalizacji niesprawności jest graficznym schematem toku postępowania specjalisty w procesie lokalizacji niesprawności. Podstawą opracowania schematu lokalizacji uszkodzeń jest model funkcjonalno-diagnostyczny badanego urządzenia. Dysponując takim modelem, można dopiero przystąpić do opracowania algorytmu lokalizacji niezdatności.

W celu zaprezentowania istoty opracowania algorytmu lokalizacji niezdatności wybrano układ zasilania elektrycznego pojazdu. Elementy składowe (funkcjonalne) układu zasilania elektrycznego w pojeździe przedstawiono na rysunku 1. Badany zespół poddano opracowaniu diagnostycznemu, w sposób opisany w pracach [2-11]. Na podstawie wykonanej analizy funkcjonalno-diagnostycznej w obiekcie wyróżniono zbiór elementów podstawowych (rys. 2). W przedstawionym na rysunku 2 schemacie wyznaczono zbiór siedmiu możliwych niesprawności, do których należą:

1. Uszkodzone połączenia alternatora z akumulatorem.
2. Uszkodzone uzwojenie stojana.
3. Uszkodzone diody w mostku prostowniczym.
4. Uszkodzony akumulator.
5. Uszkodzone w obwodzie połączenia uzwojeń stojana z mostkiem prostowniczym.
6. Uszkodzony regulator napięcia.
7. Uszkodzone połączenie regulatora z magneśnicą.

Ze względu na wagi symptomu uszkodzenia $w_q(d_{i,j})$ wyznaczono zbiór elementów możliwych uszkodzeń w postaci:

1. A — uszkodzony regulator napięcia ($w_q(d_{i,j}) = 0,36$).
2. B — uszkodzone uzwojenia stojana ($w_q(d_{i,j}) = 0,14$).
3. C — uszkodzone połączenia mostka prostowniczego z akumulatorem ($w_q(d_{i,j}) = 0,13$).
4. D — uszkodzony akumulator ($w_q(d_{i,j}) = 0,12$).
5. E — uszkodzone połączenia uzwojenia stojana z mostkiem prostowniczym ($w_q(d_{i,j}) = 0,11$).
6. F — uszkodzenie w obwodzie regulatora napięcia – magneśnica ($w_q(d_{i,j}) = 0,09$).
7. G — uszkodzenie połączenia w obwodzie regulatora napięcia – magneśnica ($w_q(d_{i,j}) = 0,05$).

W procesie kształcenia studentów po opanowaniu określonej wiedzy teoretycznej i praktycznej tworzone są sytuacje operacyjne polegające na sprecyzowaniu aktualnego stanu pracy obiektu technicznego, uszczegółowionego np. do układu zasilania pojazdu, a w nim np. **zbyt niskie napięcie na zaciskach akumulatora**. Zadaniem słuchaczy jest opracowanie odpowiedniego schematu postępowania diagnosty. Słuchacze mają do dyspozycji stanowisko laboratoryjne, gdzie na bieżąco mogą sprawdzać i weryfikować swoje wyniki (tok postępowania) przy wykorzystaniu typowych przyrządów kontrolno-pomiarowych.

4. Podsumowanie

W artykule zaprezentowano opis metody postępowania specjalisty podczas opracowywania algorytmu postępowania diagnosty w procesie lokalizacji niesprawności w układzie zasilania elektrycznego pojazdu. Opracowanie dobrego wiarygodnego algorytmu lokalizacji uszkodzeń zależy od wiedzy w zakresie budowy, funkcjonowania i eksploatacji danego urządzenia oraz doświadczenia w zakresie lokalizacji niesprawności w tej klasie urządzeń technicznych. Sposób postępowania diagnosty wyrażany jest między innymi schematem (algorytmem) jego postępowania praktycznego w procesie szukania niezdatności w obiekcie technicznym i należy do trudnych przedsięwzięć organizacyjno-technicznych i dydaktycznych. Autorzy w swoich dalszych pracach rozwijają problematykę wnioskowania i podejmowania decyzji w systemach inteligentnych na podstawie „drzewa decyzji”. Wnioskowanie w inteligentnych systemach diagnostycznych i podejmowania decyzji jest ciągle rozwijane i doskonalone. Szczególnie jest to widoczne w problematyce diagnozowania złożonych obiektów technicznych, która realizowana jest na bazie informacji diagnostycznej (diagnostycznej bazy wiedzy) w opracowanym systemie diagnostycznym przy wykorzystaniu specjalistycznych narzędzi i programów komputerowych,

np. programu (DIAG 2) [2]. Podstawą organizacji procesu podejmowania decyzji w zakresie diagnozowania urządzeń technicznych są opracowane modele diagnostyczne badanego obiektu. W pracy pokazano, że wykonany model funkcjonalno-diagnostyczny systemu zasilania pojazdu jest ważnym narzędziem pomocniczym przy budowaniu jego baz wiedzy diagnostycznej.

Praca finansowana z Projektu Badawczego Statutowego Politechniki Koszalińskiej nr 504.02.33.

Artykuł wpłynął do redakcji 14.05.2019. Zweryfikowaną wersję po recenzjach otrzymano 27.05.2019.

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

LITERATURA

- [1] BĘDKOWSKI L., DĄBROWSKI T., *Podstawy eksploatacji*, cz. 2, Wyd. WAT, Warszawa, 2006, s. 187.
- [2] DUER S., BERNATOWICZ D., WRZESIEŃ P., DUER R., *The diagnostic system with an artificial neural network for identifying states in multi-valued logic of a device wind power*, 14th International Conference BDAS2018, Held at the 24th IFIP World Computer Congress, WCC2018 Poznan, Poland, September 18-20, 2018 Communications in Computer and Information Science, Springer, vol. 928, 2018, pp. 442-454.
- [3] DUER S., BERNATOWICZ D., WRZESIEŃ P., DUER R., *Diagnosing of a complex technical object in four-valued logic*, Biuletyn Wojskowej Akademii Technicznej, vol. 67, nr 1, 2018, s. 33-426, DOI: 10.5604/01.3001.0011.8018.
- [4] DUER S., BERNATOWICZ D., WRZESIEŃ P., DUER R., *Examination of informativeness of diagnoses expressed with multiple-valued logic*, Biuletyn Wojskowej Akademii Technicznej, vol. 67, nr 2, 2018, s. 169-178, DOI: 10.5604/01.3001.0012.0992.
- [5] DUER R., WRZESIEŃ P., DUER S., BERNATOWICZ D., *Baza wiedzy dotycząca urządzeń farmy wiatrowej w komputerowym systemie ekspertowym*, Biuletyn Wojskowej Akademii Technicznej, vol. 67, nr 2, 2018, s. 179-189, DOI: 10.5604/01.3001.0012.0997.
- [6] DHILLON B.S., *Applied Reliability and Quality, Fundamentals. Methods and Procedures*, Springer-Verlag London Limited, 2006.
- [7] HAYER-ROTH F., WATERMAN D., LENAT D., *Building expert systems*, Addison-Wesley Publishing Company, 1983.
- [8] HOJJAT A., SHIH-LIN H., *Machine learning, neural networks, genetic algorithms and fuzzy systems*, John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, 1995.
- [9] KACALAK W., MAJEWSKI M., *New Intelligent Interactive Automated Systems for Design of Machine Elements and Assemblies*, Lecture Notes in Computer Science, Springer, IV(7666), 2012, 115-122.
- [10] LIPINSKI D., MAJEWSKI M., *System for Monitoring and Optimization of Micro- and Nano-Machining Processes Using Intelligent Voice and Visual Communication*, Lecture Notes in Computer Science, Springer, 8206, 2013, 16-23.
- [11] MATHIRAJAN M., CHANDRU V., SIVAKUMAR A.I., *Heuristic algorithms for scheduling heat-treatment furnaces of steel casting industries*, Sadahana, 32, 5, 2007, 111-119.
- [12] NAKAGAWA T., *Maintenance Theory of Reliability*, Springer-Verlag London Limited, 2005.
- [13] NAKAGAWA T., ITO K., *Optimal inspection policies for a storage system with degradation at periodic tests*, Math. Comput. Model, 31, 2000, 191-195.

- [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] POKORADI L., *Logical Tree of Mathematical Modeling*, Theory and Applications of Mathematics & Computer Science, 5, 1, 2015, 20-28.
- [16] ROSIŃSKI A., *Design of the electronic protection systems with utilization of the method of analysis of reliability structures*, Nineteenth International Conference on Systems Engineering, USA, Las Vegas 2008.
- [17] ROSIŃSKI A., *Reliability analysis of the electronic protection systems with mixed – three branches reliability structure*, [in:] Reliability, Risk and Safety. Theory and Applications, vol. 3, 2010.
- [18] ZAJKOWSKI K., *The method of solution of equations with coefficients that contain measurement errors, using artificial neural network*, Neural Computing and Applications, 24, 2, 2014, 431-439.

P. DUER, S. DUER, P. WRZESIEŃ

Construction of a local location program on the basis of “decision tree”

Abstract. The article presents the problems of building a damage location program in a technical facility based on the theory of the “decision tree”. The basis in such a decision-making process is the functional and diagnostic analysis of the tested technical device. The result of this analysis process is a set of basic (functional) elements with a set of weighting factors assigned to them. An algorithm of fault location is developed in the theory of the “decision tree” in the process of locating faults in the tested vehicle power supply system.

Keywords: technical diagnostics, diagnostic reasoning, artificial intelligence

DOI: 10.5604/01.3001.0013.3009

