

Imię i nazwisko autora rozprawy: mgr inż. Marta Drosińska-Komor
Dyscyplina naukowa: inżynieria mechaniczna

ROZPRAWA DOKTORSKA

Tytuł rozprawy w języku polskim: Metoda diagnostyki cieplno-przepływowej turbin parowych wykorzystująca elementy algorytmów genetycznych

Tytuł rozprawy w języku angielskim: A method of thermal-flow diagnostics of steam turbines using elements of genetic algorithms

| | |
|------------------------------------|-----------------------------------|
| Promotor | Drugi promotor |
| <i>podpis</i> | <i>podpis</i> |
| dr hab. inż. Jerzy Głuch, prof. PG | <Tytuł, stopień, imię i nazwisko> |
| Promotor pomocniczy | Kopromotor |
| <i>podpis</i> | <i>podpis</i> |
| <Stopień, imię i nazwisko> | <Tytuł, stopień, imię i nazwisko> |

Gdańsk, rok 2022

Spis treści

| | |
|---|-----|
| Oznaczenie symboli | 3 |
| 1 Wstęp | 5 |
| 1.1 Diagnostyka techniczna | 6 |
| 1.2 Diagnostyka ciepłno-przepływową..... | 8 |
| 1.2.1 Procedura diagnozowania..... | 9 |
| 1.2.2 Stan referencyjny | 11 |
| 2 Motywacja i cel pracy | 12 |
| 2.1 Sztuczne sieci neuronowe..... | 15 |
| 2.2 Idea algorytmów genetycznych | 15 |
| 2.3 Cel pracy | 16 |
| 3 Opis obiektu badań..... | 18 |
| 4 Program numeryczny DIAGAR jako model obliczeniowy | 21 |
| 5 Algorytm genetyczny | 23 |
| 5.1 Operator genetyczny..... | 24 |
| 6 Budowa metody diagnostyki | 26 |
| 6.1 Zmienne występujące w programie | 30 |
| 6.2 Procedura selekcji..... | 32 |
| 6.3 Ewolucja programu głównego w celu ujednoczenia pozyskiwanych degradacji..... | 32 |
| 7 Wybrane wyniki działania metody | 36 |
| 7.1 Wyniki działania procedury dla pojedynczych degradacji..... | 37 |
| 7.2 Wyniki działania procedury dla podwójnej degradacji | 49 |
| 7.3 Wyniki działania procedury dla potrójnych degradacji..... | 60 |
| 7.4 Wyniki działania procedury dla poczwórnych degradacji | 73 |
| 7.5 Analiza otrzymanych wyników | 85 |
| 8 Podsumowanie | 90 |
| Bibliografia | 93 |
| Spis rysunków | 103 |
| Spis tabel..... | 108 |
| Załącznik 1 Opis pliku danych do programu DIAGAR wykorzystywanego w zbudowanej metodzie diagnostyki ciepłno-przepływowej..... | 110 |
| Załącznik 2 Opis pliku wyników programu DIAGAR wykorzystywanego w zbudowanej metodzie diagnostyki ciepłno-przepływowej..... | 120 |
| Załącznik 3 Opis działania procedury diagnostycznej z odniesieniem do schematu ideowego metody | |

| | |
|---|-----|
| Załącznik 4 Analiza procesu selekcji zastosowanego w metodzie diagnostyki ciepłno-przepływowej | 129 |
| Załącznik 5 Opis syndromów degradacji wyznaczanych przez zbudowaną metodę diagnostyki ciepłno-przepływowej..... | 135 |
| Załącznik 6 Tabelaryczna prezentacja wyników procedury diagnostycznej dla degradacji jednokrotnych | 138 |
| Załącznik 7 Tabelaryczna prezentacja wyników procedury diagnostycznej dla degradacji dwukrotnych | 142 |
| Załącznik 8 Tabelaryczna prezentacja wyników procedury diagnostycznej dla degradacji trzykrotnych | 144 |
| Załącznik 9 Tabelaryczna prezentacja wyników procedury diagnostycznej dla degradacji czterokrotnych | 147 |

Oznaczenie symboli

| | |
|---------------------|---|
| st_{ref} | Stan referencyjny |
| $ZmZ_{i_{ref}}$ | Zmianienie referencyjne |
| WP | Cześć wysokoprężna kadłuba turbiny |
| SP | Cześć średnioprężna kadłuba turbiny |
| NP. | Cześć niskoprężna kadłuba turbiny |
| GS | Grupa stopni |
| uszcz | Uszczelnieniu |
| ukl. | Układu |
| łop. | Łopatkowego |
| AG | Algorytmy genetyczne |
| DCP | Diagnostyka ciepłno-przepływowa |
| SNN | Sztuczne Sieci Neuronowe |
| Zm_{niezal} | Zmienne niezależne |
| Zm_{zal} | Zmienne zależne |
| Geo_{apar} | Geometria aparatów |
| $W_{spkorek}$ | Współczynnik korekcyjny |
| $Char_{c-p_{apat}}$ | Charakterystyki ciepłno-przepływowe aparatów |
| D1w | Średnica stóp kierownicy |
| D2w | Średnica stóp wirnika |
| D3w | Średnica stóp średnia stopnia |
| l1 | Długość łopatki kierowniczej |
| l2 | Długość łopatki wirnikowej |
| l0 | Długość średnia łopatki |
| ta1 | Podziałka kierownicy |
| ta2 | Podziałka wirnika |
| z1 | Liczba łopatek kierownicy |
| z2 | Liczba łopatek wirnika |
| dz1 | Średnica uszczelnienia zewnętrznego |
| Delz1 | Luz uszczelnienia zewnętrznego |
| Zz1 | Liczba blaszek 1. segmentu uszczelnienia |
| dz1 | Średnica 1. segmentu uszczelnienia |
| Zz2 | Liczba blaszek 1. segmentu uszczelnienia |
| dz2 | Średnica 2. segmentu uszczelnienia |
| Dw | Średnica uszczelnienia wewnętrznego |
| Deltaw | Luz uszczelnienia wewnętrznego |
| Sw | Odległość blaszek uszczelnienia wewnętrznego |
| Zw | Liczba blaszek uszczelnienia niepełnego |
| Zwn | Liczba blaszek uszczelnienia pełnego |
| dw | Średnica uszczelnienia niepełnego |
| Deltaw1 | Luz uszczelnienia niepełnego |
| ro | Współczynnik eżekcji |
| D0 | Średnica rozmieszczenia otworów odciążających |
| d0 | Średnica otworów odciążających |
| n0 | Liczba otworów odciążających |
| b10 | Szerokość wieńca |
| etad | Sprawność dyfuzji |
| Dzeta2d | Współczynnik dyfuzji |
| alfa20 | Geometryczny absolutny kąt wylotu z wirnika |
| Ra1 | Miara chropowatości kierownicy |
| Ra2 | Miara chropowatości wirnika |
| a1 | Gardło kanału kierownicy |
| a2 | Gardło kanału wirnika |



| | |
|-----------|---|
| b1 | Cięciwa profilu kierownicy |
| b2 | Cięciwa profilu wirnika |
| beta10 | Geometryczny kąt dolotu do wirnika |
| e1 | Promień krzywizny profilu kierownicy |
| e2 | Promień krzywizny profilu wirnika |
| Delta1 | Grubość krawędzi spływu profilu kierownicy |
| Delta2 | Grubość krawędzi spływu profilu wirnika |
| Lszkiel-1 | Długość linii szkieletowej profilu kierownicy |
| Lszkiel2 | Długość linii szkieletowej profilu wirnika |
| a1w | Gardło kanału kierownicy u stopy |
| a2w | Gardło kanału wirnika u stopy |
| wsk. | Wskaźnik |
| proc. | Procentowy |

1 Wstęp

Ciągły rozwój społeczno-ekonomiczny powoduje stale zwiększające się zapotrzebowanie na energię elektryczną produkowaną z różnych surowców i źródeł [1]. Polska energetyka oparta jest w głównej mierze na węglu kamiennym oraz w mniejszym stopniu wykorzystuje się węgiel brunatny [2]. Złoża tych surowców energetycznych możemy znaleźć krajowych zagłębiach węglowych np.: Lubelskim, Dolnośląskim oraz Górnośląskim [3]. Ulokowanie surowców powoduje, że w chwili obecnej około 86% energii elektrycznej pozyskiwane jest z paliw kopalnych (z czego aż 74,1% z węgla kamiennego). Krajowe zasoby węgla kamiennego ocenia się na ponad 50 mld ton, a węgla brunatnego 23 mld ton [4]. Wykorzystywanie paliwa stałego w postaci węgla kamiennego pozwala na uzyskanie względnego bezpieczeństwa energetycznego Polski, co w dobie XXI wieku jest konieczne ze względu na zapotrzebowanie na energię elektryczną w każdym aspekcie życia człowieka, wystąpienie blackoutu spowodowało by ogromne straty ekonomiczne oraz chaos w społeczeństwie [5], [6].

Stosowanie węgla kamiennego w Polsce do produkcji energii elektrycznej uwarunkowane jest przez warunki ekonomiczne oraz położenie kraju na złożach tego surowca [7], dodatkowo coraz powszechniejsze staje się stosowanie nowych technologii w celu zmniejszenia produkcji CO₂, NO_x, SO_x oraz innych substancji powstających podczas spalania węgla [8]. Proces ten jest istotny w związku ze stawianymi wymogami środowiskowymi przez Unię Europejską, lecz jego wadą są znaczne koszty ponoszone przez elektrownie w celu zastosowania czystych technologii energetycznych [5]. Obecnie ze względów technicznych największy problem w przypadku CO₂ należy upatrywać w systemie magazynowania jak i jego usuwania [5], [9]. Kolejną zaletą stosowania węgla w krajowej produkcji energii elektrycznej jest dostępność nowych technologii wydobycia węgla z coraz niżej położonych zasobów, a także duża liczba miejsc pracy dla osób zatrudnionych przy wydobyciu i przewozie węgla do elektrowni szacuje zatrudnienie na poziomie ponad stu tysięcy. Największą wadą stałych paliw kopalnych jest ciągle zmniejszani ich złóż nie tylko w Polsce, ale także na świecie [10].

Elektrownie i elektrociepłownie działające na terenie całego kraju posiadają urządzenia wytwórcze pochodzące z różnego okresu czasu zarówno nowe jak i bardzo stare [9]. Niestety średnia sprawność działających bloków węglowych wynosi tylko 37%, gdzie w Unii Europejskiej średnia ta oscyluje na poziomie 44%, różnica spowodowana jest starym systemem energetycznym w kraju. Duża liczba działających kotłów ma ponad 30 lat (71,36%) [11], wiek ten posiada również ponad połowa wszystkich eksploatowanych turbozespołów (54,15%) [12]. Ze względu na taki stan urządzeń podjęto działania mające na celu zmodernizowanie elektrowni poprzez oddanie do użytku nowych bloków energetycznych np. w Kozienicach o mocy 1075 MW czy, w Opolu bloki o mocy 900 MW. Dodatkowo można spotkać się z inwestycjami w bloki gazowo-parowe np. w Bydgoszczy, Włocławku czy Gorzowie [12].

Obecnie polska energetyka, jak wspomniano, oparta jest na węglu, lecz ze względu na ograniczenia związane z ochroną środowiska taki proces wytwarzania energii ma być tylko do 2050 roku, lecz ze względu na to, że obecnie nie mamy alternatywnych źródeł energii prawdopodobnie użytkowanie elektrowni zasilanych węglem będzie jeszcze po tym czasie. Przyszłościowo pojawią się w Polsce SMR, czyli małe reaktory atomowe a to za sprawą podpisanego 14.02.2022 kontraktu pomiędzy KGHM a amerykańską spółką NuScale na dostarczenie 6 jednostek wytwórczych na terenie Polski. Pierwszy etap projektu planowo ma zakończyć się w 2029. Nowo powstała elektrownia, wykorzystująca SMR ma mieć moc zainstalowaną na poziomie 462 MWe. Dzięki porozumieniu między stronami projektu istnieje możliwość dodania kolejnych 6 modułów.

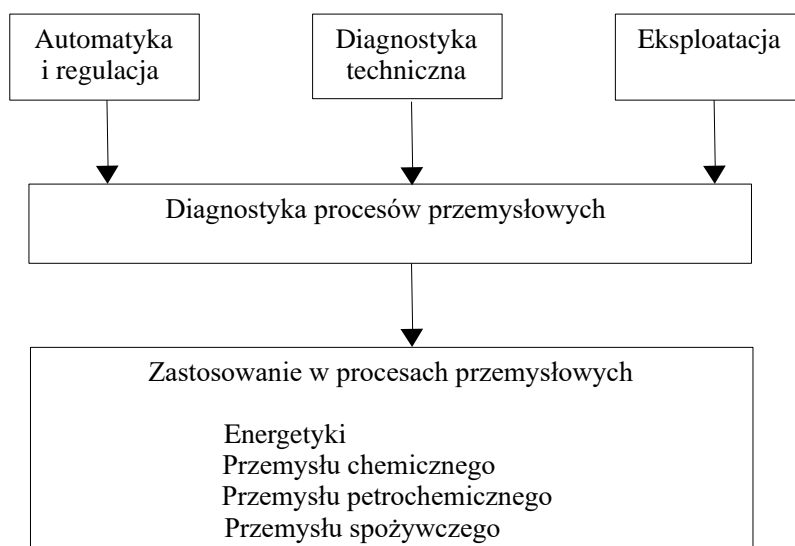
Omówiona w tej pracy metoda diagnostyki dla turbin parowych może być wykorzystana w blokach parowych zasilanych węglem, ale nie tylko można jej użyć po niezbędnych modyfikacjach także w innych systemach przemysłowych, gdzie występują turbiny ciepłone.

1.1 Diagnostyka techniczna

Diagnostyka techniczna została oparta o wiedzę wynikającą z doświadczenia eksploatacyjnego urządzeń technicznych [13], [14]. Diagnostyka ta ma za zadanie określić bezdemontażową zdadność techniczną obiektu do eksploatacji, poprzez dostarczenie informacji o jego stanie, a następnie przekształcenie jej w celu użycia w procedurach eksploatacyjnych [15], w tym celu tak ważne jest obserwowanie maszyny i wykorzystywanie wcześniej zdobytej wiedzy o niej [16]. Przez zdadność techniczną rozumie się stan, w którym obiekt techniczny jest w stanie utrzymać i wytworzyć stan funkcjonalny niezbędny do swojej pracy, który to pozwala na bezpieczne użytkowanie danego obiektu [17]. Stan zdadności obiektu technicznego możemy również definiować poprzez sprawdzenie czy wszystkie występujące parametry stanu maszyny znajdują się w jego dozwolonych granicach. W pracy tej przez obiekt techniczny rozumie się turbinę parową pracującą w elektrowniach czy elektrociepłowniach. W trakcie użytkowania rozważanego urządzenia dochodzi do zmian jego parametrów pracy, występują w nim również między innymi: przecieki, starcie uszczelnień czy zwiększenie chropowatości powierzchni łopatek zamocowanych w wieńcach turbinowych. Każda nawet niewielka zmiana parametrów lub geometrii występująca w obiekcie może spowodować zmniejszenie jego sprawności [18], ale pomimo to ze względów ekonomicznych taki obiekt jest dalej eksploatowany. Każdy nawet najmniejszy przestój w działaniu turbiny spowodowany między innymi naprawą czy wymianą elementów powoduje duże straty pieniężne, spowodowane przestojem w produkcji energii, dla tego tak ważne jest stosowanie racjonalnej eksploatacji [19]. Korzyściami z racjonalnej eksploatacji urządzeń technicznych jest skrócenie czasu oraz kosztów napraw, podniesienie bezpieczeństwa użytkowania obiektu technicznego. Również występuje wówczas wydłużenie czasu eksploatacji obiektów, podniesienie ich efektywności pracy oraz obniżenie kosztów eksploatacyjnych [20].

Diagnostykę techniczną w energetyce można odnaleźć w systemach zapewniających bezpieczeństwo obiektów znajdujących się w elektrowni [21] czy elektrociepłowni [22], a uściślając w obiektach, w których znajdują się maszyny wirnikowe, diagnostyka ta zaczyna się od systemów służących do analizy drgań [23]–[25]. Diagnostyka ta jest również pomocna w walidacji modeli matematycznych dla elektrowni [21] oraz elektrociepłowni [26], w obiektach tych obok turbin parowych można znaleźć turbiny gazowe które również poddane są procesowi diagnostycznemu [27].

Wiedza wynikająca z diagnostyki technicznej [28] została użyta w diagnostyce procesów przemysłowych, którą używa się w szeroko rozumianym przemyśle [29], którego częścią jest energetyka [30] (rys. 1). W diagnostyce procesów przemysłowych wykorzystuje się również wiedzę z dziedziny eksploatacji maszyn [31] oraz automatyki i regulacji [32]. Diagnostyka ta ma za zadanie utrzymać obiekt w stanie zdadności zadaniowej, a używanie jej jest konieczne ze względu na umożliwienie poprawnej i sprawnej eksploatacji obiektów technicznych. Pozwala ona również na najwcześniejsze wykrycie uszkodzenia powstałego w badanym obiekcie [33], dzięki czemu eksploatacja danego urządzenia może zaplanować dalszy plan działania mający na celu obserwację danego uszkodzenia [34]. Obserwacji tej dokonuje się, ponieważ w niektórych przypadkach można dalej bezpiecznie użytkować obiekt bez większych strat sprawnościowych, jeśli jednak uszkodzenie ze względu na swój rodzaj nie pozwala na bezpieczne użytkowanie to należy zniwelować uszkodzenie, poprzez naprawę czy wymianę urządzenia lub jego elementu.

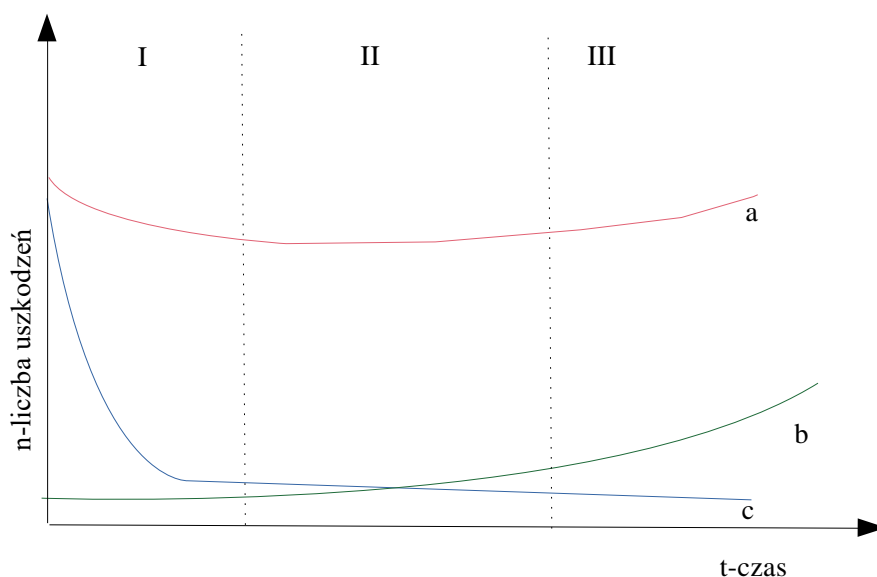


Rys. 1 Geneza i zastosowanie diagnostyki procesów przemysłowych na podstawie [31].

W przypadku urządzeń technicznych zależność wystąpienia uszkodzenia od czasu można przedstawić na wykresie (rys. 2). Z wykresu wynika, że występują dwa typy uszkodzeń:

- wczesne: maksimum uszkodzeń przypada na moment uruchomienia urządzenia i spada nagle w dół w niedługim czasie i utrzymuje tą wartość wraz z przyrostem czasu;
- zużyciowe: w początkowej fazie użytkowania urządzenia ich wartość jest mała i rośnie wraz z czasem użytkowania obiektu technicznego.

Wypadkowa liczba tych uszkodzeń tworzy parabolę o szeroko ustawionych ramionach [35].



Rys. 2 Wykres przedstawiający liczbę uszkodzeń w czasie t gdzie: I- liczba uszkodzeń maleje, II-liczba uszkodzeń pozostaje bez zmiany, III-liczba uszkodzeń zaczyna wzrastać, a- wypadkowa liczba wszystkich uszkodzeń, b- wystąpienie uszkodzeń spowodowanych zużyciem materiału, c- wystąpienie wczesnych uszkodzeń [Na podstawie [35]].

1.2 Diagnostyka ciepłno-przepływowa

Diagnostyka ciepłno-przepływowa (DCP) należy do wcześniej wspomnianej diagnostyki technicznej w związku z tym wykorzystuje ona wiedzę z niej wynikającą [36]. DCP ma za zadanie utrzymać badany obiekt w stanie zdatności technicznej (zadaniowej) tak aby uzyskać jak największą możliwą sprawność, która powinna być stale utrzymywana na tym samym poziomie [37]. Zmniejszenie sprawności wynika z występowania nagłych lub wzrastających w czasie wielkości degradacji wymiarów geometrycznych. Diagnostyka ta zajmuje się zarówno badaniem obiektu jak i oceną przemian energetycznych występujących w nim [19].

Ocena przemian energetycznych wymaga poznania i określenia miar diagnostycznych [38]. Najprostszą miarą diagnostyczną są symptomy, przez symptom rozumie się wartość odchyłki mierzonej od wartości wzorcowej (inaczej mówiąc jest to wartość referencyjna) (1) [39]. Wartość wzorcowa ustalana jest w momencie, w którym nie występują żadne degradacje, czyli ustalana jest ona dla nowych elementów lub po przeprowadzonym remoncie. W związku z tym, że turbina jest skomplikowanym urządzeniem składającym się z dużej liczby elementów [40] występuje tu bardzo duża liczba symptomów [41], dla przyspieszenia obliczeń symptomy łączy się w grupy które to nazywane zostały syndromami (2). Wartości symptomów lub syndromów w dalszym procesie, występują jako dane wejściowe do wyznaczenia relacji diagnostycznych.

$$\text{symptom} = \frac{\text{parametr}_{\text{zmierzony}} - \text{parametr}_{\text{nominalny}}}{\text{parametr}_{\text{zmierzony}}} \quad (1)$$

$$\text{syndrom} = [\text{symptom}_1, \text{symptom}_2, \text{symptom}_3 \dots \text{symptom}_n] \quad (2)$$

gdzie n to liczba syndromów.

W przypadku DCP można zastosować modele matematyczne obiektów energetycznych [42], ich wykorzystanie można odnaleźć w zadaniach dotyczących:

- przeprowadzenie wstępnych obliczeń rozważanych obiektów;
- dokonania obliczeń szczegółowych oraz dyspozycyjnych;
- przeprowadzenie obliczeń rozważanego obiektu w warunkach występowania obciążenia innego niż jego wartość nominalna.

Przez model matematyczny należy rozumieć związek między ciepłno-przepływowymi parametrami zależnymi, niezależnymi oraz geometrią aparatów występujących w obiekcie. Model matematyczny możemy tutaj przedstawić jako układ równań bilansowych energii a także masy i przyjmuje on postać przedstawioną za pomocą zależności (3) [36].

$$\text{zmiennne zależne } F \{ Zm_{\text{niezal}}, Char_{c-p \text{ apar}}, f_1 [Zm_{\text{niezal}}, Zm_{\text{zal}}, Wsp_{\text{korek}}, f_2 (Zm_{\text{niezal}}, Zm_{\text{zal}}, Geo_{\text{apar}})] \} \quad (3)$$

gdzie:

Zm_{niezal} - zmienna niezależna;

Zm_{zal} - zmienna zależna;

Geo_{apar} - geometria aparatów;

Wsp_{korek} - współczynnik korekcyjny

$Char_{c-p \text{ apar}}$ - charakterystyki ciepłno-przepływowe aparatów.

Zmienne niezależne występujące w równaniu (3) odniesione są do górnego źródła ciepła oraz dolnego występującego w bloku ciepłnym elektrowni. Przez górne i dolne źródło ciepła rozumie się tutaj kocioł oraz skraplacz, oprócz nich w skład zmiennych niezależnych zalicza się parametr określający ciśnienie w odgazowywaczu, pod warunkiem, że utrzymywany jest przy stałej nastawie ciśnienia. Parametrem niezależnym jest również masowe strumienia wtrysku wody chłodzącej.

W niniejszej pracy rozważany jest blok z zainstalowaną turbiną parową posiadającą przegrzew międzystopniowy pary, a także możliwość dokonywania zmian temperatury pary świeżej i przegrzanej.

Parametrami wchodzącymi w skład zmiennych niezależnych są te przedstawione w tab. 1, przy czym najczęściej występuje razem od 4 do 9 parametrów [36].

Tab. 1 Zmienne niezależne określające stan cieplny bloku parowego

| Symbol parametru | Nazwa parametru [jednostka] |
|---------------------|--|
| N | moc [MW] |
| \dot{m}_0 | masowe natężenie przepływu pary świeżej [kg/s] |
| t_0 | temperatura pary świeżej [°C] |
| p_0 | ciśnienie pary świeżej [bar] |
| t_{prz} | temperatura przegrzewu [°C] |
| p_{prz} | ciśnienie przegrzewu [bar] |
| \dot{m}_{wtr1} | strumień masowy wtrysku wtórnego nr 1 [kg/s] |
| \dot{m}_{wtr2} | strumień masowy wtrysku wtórnego nr 2 [kg/s] |
| p_k | ciśnienie w skraplaczu [bar] |
| $(p_{odg})_{const}$ | stałe ciśnienie w odgazowywaczu [bar] |

W równaniu (3) można znaleźć część dotyczącą geometrii parametru bloku parowego, przez niego rozumie się wymiary aparatów występujących w bloku, które to mają decydują o cieplno-przepływowymi właściwościami rozważanych elementów. Przy czym zgodnie z definicją przedstawianego modelu matematycznego zakłada się, że powiązania pomiędzy geometrią, a właściwościami cieplno-przepływowymi są znane. Oprócz omówionego w równaniu tym parametru można odszukać również zmienne zależne, którymi są wszystkie inne zmienne nie będące niezależnymi zmiennymi [36].

1.2.1 Procedura diagnozowania

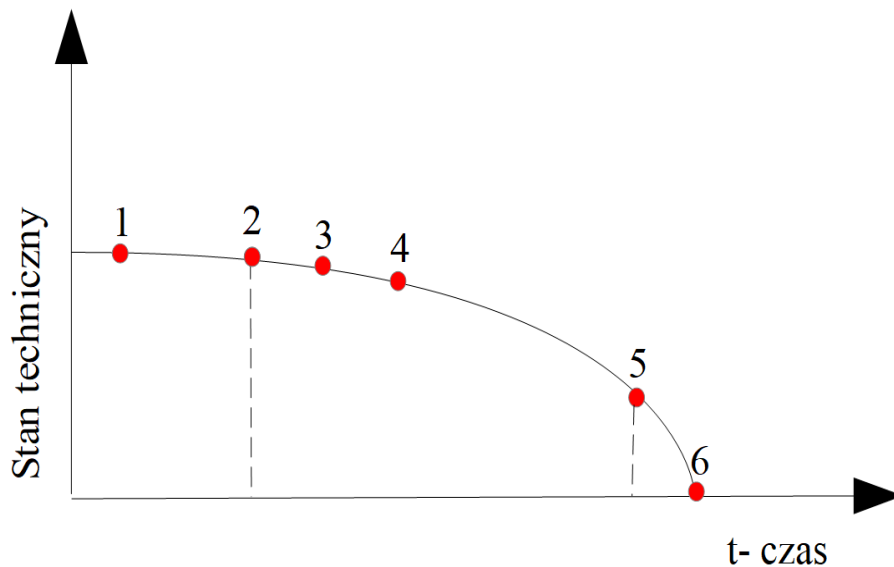
Procedura diagnozowania może zostać przeprowadzona z różnym stopniem dokładności, w wyniku takiego postępowania można pozyskać wynik od poziomu ogólnego do bardzo dokładnego [43]. Najefektywniejszy proces diagnozowania występuje w momencie przeprowadzania go w trzech etapach występujących po sobie:

- detekcja: zauważenie lub wykrycie powstałego uszkodzenia w badanym obiekcie technicznym, a także określenie chwili detekcji [44];
- lokalizacja: zidentyfikowanie rodzaju uszkodzenia wraz z jego miejscem wystąpienia oraz czasu powstania [45];
- identyfikacja: określenie rozmiaru i charakterystyki zmienności uszkodzenia występującego w czasie [38], [46].

Przedstawione etapy procesu diagnozowania można przedstawić na wykresie (rys. 3) zaznaczono punkty od 1 do 6 gdzie punkt [35]:

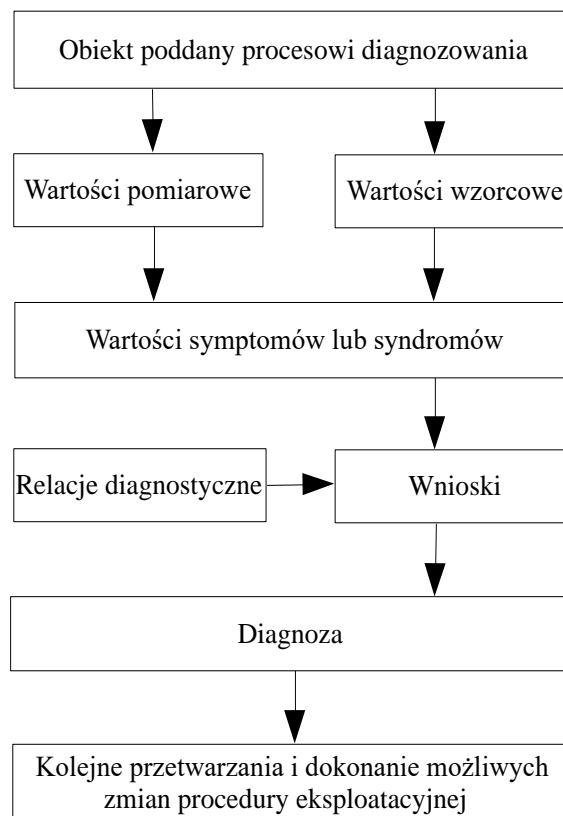
1. oznacza zapoczątkowanie wystąpienia uszkodzenia w obiekcie technicznym;
2. potencjalne wystąpienie uszkodzenia, gdzie między punktem 1-2 jest czas na przeprowadzenie pierwszego stopnia diagnozowania, czyli detekcji uszkodzenia;
3. lokalizacja uszkodzenia;
4. identyfikacja uszkodzenia;
5. obiekt funkcjonalnie niesprawny, między punktem 2 a 5 jest czas, w którym należy przeprowadzić naprawy, jeśli się ich nie wykona to obiekt w takim przypadku nie może dokładnie pełnić swojej funkcji;
6. moment wystąpienia awarii.





Rys. 3 Wykres stanu technicznego urządzenia technicznego odniesiony do czasu. Na podstawie [35].

Procedura diagnozowania w DCP (rys. 4) przeprowadzana jest w etapach występujących jeden po drugim. Pierwszym krokiem jest wybranie obiektu poddanego diagnozie w przypadku tej pracy obiektem tym jest turbina parowa o mocy 200 MW, następnie należy wyznaczyć symptomy i syndromy według wzorów 1 oraz 2. Wartości te poddane są działaniu relacji diagnostycznej dzięki czemu otrzymuje się wynik w postaci diagnozy. Diagnoza może być końcowym wynikiem lecz występują sytuacje kiedy otrzymany wynik nie jest w pełni satysfakcjonujący, w takim przypadku proces ten należy przeprowadzić jeszcze raz [18], [47]. Procesy diagnostyczne w energetyce można wykorzystać do procesu kalibracji modeli matematycznych turbin [48], strumienic [49], kotłów [50], a także systemów energetycznych [51].



Rys. 4 Schemat procedury diagnozowania.

1.2.2 Stan referencyjny

W przypadku DCP istotne jest wyznaczenie stanu referencyjnego badanego obiektu. Stan ten występuje, gdy wszystkie urządzenia zainstalowane na bloku cieplnym pracują przy niezdegradowanych, czyli inaczej mówiąc idealnych charakterystykach eksploatacyjnych. Taki stan można znaleźć w nowych urządzeniach lub od razu po przeprowadzonym kapitalnym remoncie, czyli w momencie wystąpienia najlepszych charakterystyk sprawnościowych dla każdego aparatu [30], [52].

Stan referencyjny można przedstawić w postaci wektora (4) składającego się ze zmiennych zależnych, gdzie kolejne składowe reprezentowane są przez wartości referencyjne $ZmZ_{i\ ref}$ [53].

$$st_{ref} = st_{ref}[ZmZ_{1\ ref}, ZmZ_{2\ ref}, ZmZ_{3\ ref}, \dots, ZmZ_{nzz\ ref}] \quad (4)$$

Powyższy sposób jest dość skomplikowany, dla tego stan referencyjny można przedstawić w prostszy sposób (5) używając w tym celu funkcyjnych zależności określonych zmiennych zależnych w funkcji zmiennych niezależnych przy występujących poprawnych charakterystykach urządzeń wchodzących w skład bloku. Zmiennymi niezależnymi (ZN_i) są [18], [36]:

- moc;
- strumień masowy pary świeżej;
- ciśnienie w kondensatorze;
- strumień masy wtrysku wody chłodzącej;
- ciśnienie w odgazowywaczu;
- parametry kotła;
- ciśnienie początkowe;
- temperatura początkowa;
- temperatura przegrzewu.

$$st_{ref} = f[ZN_1, ZN_2, ZN_3, \dots, ZN_{nzn}] \quad (5)$$

2 Motywacja i cel pracy

Relacje diagnostyczne bloków energetycznych uzyskiwano do tej pory między innymi poprzez zastosowanie jednej z poniższych metod:

- analitycznej;
- statystycznej;
- sztucznych sieci neuronowych.

Metody te pozwalały na pozyskiwanie satysfakcjonujących wyników, lecz każda z nich posiadała swoje zalety jak i wady [54]. Metody analityczne w dużej mierze dotyczą obliczeń dla stanów nominalnych i mogą one podczas częściowego obciążenia również określać: moc, sprawność oraz parametry występujące w stanach nominalnych, tak aby przeprowadzić porównanie z pomiarami podawanymi przez producenta turbiny czy też do pomiarów eksploatacyjnych [55]. Zaletą metod analitycznym jest odniesienie się do drugiej zasady termodynamiki dzięki czemu można zlokalizować główne miejsca wystąpienia strat występujących na wybranych urządzeniach między innymi kotle węglowym [56], ale także w całym obiegu [57]. Zaprezentowane metody dają możliwość użycia ich w celu znalezienia optymalnej wartości sprawności przy osiągnięciu górnych parametrów termodynamicznych i dokonaniu zmiany konfiguracji całego obiegu [58], także pozwalają na dodanie do układu nowego elementu [59]. Następnie metody te można zweryfikować eksperymentalnie przy użyciu np. sieci neuronowych [60] lub logiki rozmytej [61].

W literaturze przedmiotu można znaleźć różne prace dotyczące procesu diagnostycznego układów kombinowanych, czy turbin gazowych [62]. Według najlepszej wiedzy autorki nie udało się znaleźć prac dotyczących diagnostyki cieplno-przepływowej wykorzystującej algorytmy genetyczne, niż prace, w których jestem autorką lub współautorką. Największą liczbę stanowią prace wykorzystujące sztuczne sieci neuronowe [63], [64]. Algorytmy genetyczne były wykorzystane przez Chang [65] w kombinacji z sieciami neuronowymi do przedstawienia metody zarządzania zapotrzebowaniem na energię z klasycznym algorytmem genetycznym. W innej pracy [66] do oceny wstrzykiwania pary wodnej wykorzystano eksterytorialny algorytm genetyczny. Praca [67] przedstawiała wykorzystanie zrównoważonego algorytmu genetycznego do znalezienia funkcji celu dla optymalizacji wielu połączonych ze sobą systemów turbin parowych i sieci komunalnych. W literaturze znaleziono również pracę [68] prezentującą badania pełnego obciążenia elektrowni Basat, gdzie algorytmy zostały użyte do jedno oraz wielokryterialnej optymalizacji charakterystyk techniczno-ekonomicznych znajdujących się w cyklu ponownego zasilania elektrowni. Do celów wielokrotnej optymalizacji systemów energetycznych posłużono się również algorytmami genetycznymi, gdzie użyto frontu Pareto [69] co w prezentowanej pracy nie zostało uwzględnione. Przytoczone prace pokazują, że algorytmy genetyczne są używane w różnych aspektach badań związanych z szeroko pojętą energetyką, lecz nie zastosowano ich do diagnostyki cieplno-przepływowej turbin parowych. Inne prace poruszające temat diagnostyki maszyn wirnikowych zaprezentowano w tab. 2.

Tab. 2 Przegląd literaturowy metody użytej do procesu diagnostycznego obiektu wirnikowego.

| Autor | Literatura | Typ analizowanej turbiny: parowa, gazowa, organiczny cykl Rankine'a (ORC) | Sposób w jaki udało się dokonać procesu diagnostycznego |
|--------------------|------------|--|--|
| Andrearczyk i inni | [70] | prototypowa mikro turbina pracująca w elektrowni opartej na ORC | System diagnostyczny wyposażony w aplikację pomiarowo-monitorującą |
| Angelakis i inni | [71] | Turbina gazowa | Sztuczne sieci neuronowe (SSN) |
| Asgari i inni | [72] | Turbina gazowa | SSN |
| Aslanidou i inni | [73] | Mikro Turbina gazowa | Uczenie maszynowe |

| | | | |
|----------------------------|------|---|--|
| Badur i inni | [74] | Stopień regulacyjny w turbinie parowej | Metoda analityczna i numeryczna dla obliczeniowej dynamiki płynów (CFD) oraz obliczeniowej dynamiki ciał stałych (CSD) |
| Badur i inni | [75] | Turbina parowa | Termiczna- interakcja płynów i ciał stałych (FSI) |
| Banaszkiewicz | [76] | Turbina parowa | Metoda elementów skończonych (MES) i całka Duhamela |
| Banaszkiewicz | [77] | Turbina parowa | Analiza probabilistyczna i rozważania dotyczące mechaniki pęknięcia |
| Banaszkiewicz, Rehmus-Forc | [78] | Turbina parowa | Badania materiałów i obliczenia integralności mechanicznej |
| Barad i inni | [79] | Silnik z turbiną gazową | Sieć neuronowa |
| Barelli i inni | [80] | Układ turbodoładowania silnika spalinowego 1 MW | Logika rozmyta |
| Blaut, Breńkacz | [81] | Wirnik | Operator energetyczny Teager-Kaiser |
| Breikin i inni | [82] | Silnik turbiny gazowej | Algorytmy genetyczne (AG) |
| Butterweck, Głuch | [83] | Turbina parowa | Model neuronowy |
| Bzymek i inni | [84] | Turbina parowa | CSD, CFD |
| Dhini i inni | [85] | Turbina parowa | Ekstremalne uczenie maszynowo-promieniowe sieci funkcyjne |
| Fast, Palme´ | [63] | Turbina gazowa | Sztuczny neuron |
| Fentaye i inni | [86] | Turbina gazowa | Sieć Bayesowska |
| Głuch | [47] | Turbina parowa | SSN |
| Głuch | [87] | Turbina parowa | SSN |
| Głuch, Drosińska-Komor | [88] | Turbina parowa | SSN |
| Korczewski | [14] | Silniki spalinowe, silniki turbinowe | Endoskopia, modelowanie matematyczne i symulacji numeryczna procesów |

| | | | |
|---------------------|-------|---|--|
| Kraszewski i inni | [89] | Kulista rura rozgałęziająca pary świeżej jest elementem bloku elektrowni węglowej współpracującej z turbiną 18K370. | Numeryczna analiza termiczna - FSI |
| Kuo | [90] | Turbina gazowa | Sztuczne sieci neuronowe i logika rozmyta |
| Madhavan i inni | [91] | Silnik turbiny gazowej lotniczej | Trójwymiarowy element skończony |
| Mo i inni | [92] | Turbina gazowa | Rozmyta logika wnioskowania |
| Nowak, Rusin | [93] | Turbina parowa | AG |
| Salahshoor i inni | [60] | Turbina parowa | Fuzja klasyfikatora SVM (maszyna wektorów nośnych) z klasyfikatorem AFIS (adaptacyjny neuro-rozmyty system wnioskowania) |
| Salilew i inni | [94] | Turbina gazowa | Analiza liniowej ścieżki gazowej |
| Ślęzak-Żołna | [95] | Turbina parowa | SNN |
| Ślęzak-Żołna, Głuch | [96] | Turbina parowa | SNN |
| Tsoutsanis i inni | [97] | Turbina gazowa | Proces adaptacji wydajności |
| Wong i inni | [82] | Turbina gazowa | Ekstremalne uczenie maszynowe |
| Yan i inni | [98] | Generator turbiny parowe | Hierarchiczna rozmyta sieć neuronowa |
| Yang i inni | [99] | Turbina parowa | Graf wiedzy i sieć Bayesowska |
| Zeng i inni | [100] | Turbina gazowa | Dynamiczny model symulacyjny i algorytm wyszukiwania Cuckoo |
| Zhang i inni | [101] | Turbina parowa | Sieć Bayesowska |
| Zhou i inni | [81] | Turbina gazowa | Maszyna wektorów nośnych |
| Ziółkowski i inni | [55] | Turbina gazowa | Symulacje numeryczne |

2.1 Sztuczne sieci neuronowe

Sztuczne sieci neuronowe (SSN) stosowane są powszechnie na świecie w celu wyznaczenia diagnozy dla różnych typów obiektów technicznych. Idea sztucznych sieci neuronowych oparta jest o budowę i zjawiska występujące w mózgu człowieka [102]. SSN można definiować, jako zbiór jednostek obliczeniowych pracujących równolegle, które to przetwarzają dane oraz mogą komunikować się ze sobą [103]. Inaczej jest to zbiór komórek wejściowo-wyjściowych połączonych ze sobą [104]. Można wyróżnić między innymi sieci [105]:

- jednokierunkowe:
 - jednowarstwowe;
 - wielowarstwowe;
- rekurencyjne;
- komórkowe.

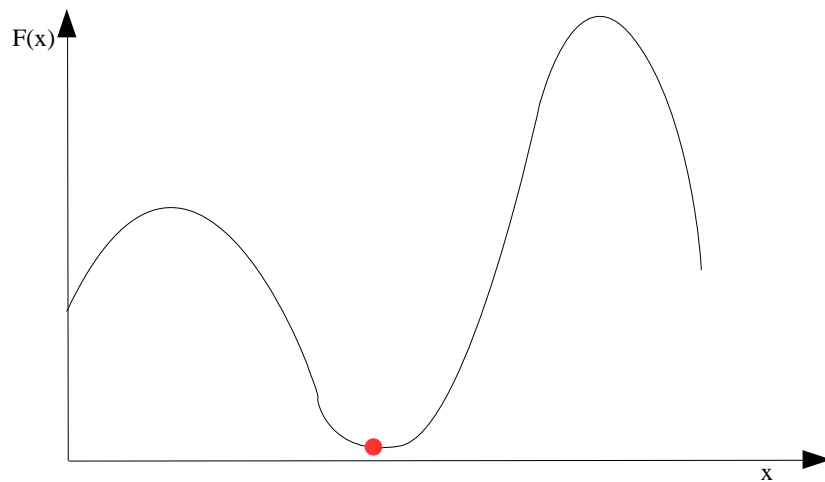
Najprostszym przykładem sieci jednowarstwowej jest perceptron, posiada on po jednej warstwie danych wejściowych i wyjściowych oraz warstwy ukryte, które występują pomiędzy nimi. Sieć rekurencyjna posiada w swojej budowie sprzężenie zwrotne, co powoduje dwukierunkowe przesyłanie informacji [106]. Po przygotowaniu każdego rodzaju sieci należy każdorazowo ją nauczyć zachowania, uczenie to może przebiegać z nauczycielem lub bez [63]. W chwili obecnej można znaleźć prace, w których opisane jest użycie sztucznych sieci do różnego typu badań obiektów technicznych [107] w tym między innymi turbin parowych [108] i gazowych [109].

W DCP jedną z najczęściej stosowanych metod do pozyskiwania diagnozy są SSN [31]. Proces pozyskiwania diagnozy przebiega w trzech fazach, czyli detekcji, lokalizacji oraz identyfikacji. Model, który pozwala na takie postępowanie w przypadku turbin parowych przedstawił między innymi Głuch w pracy [19] *„Metoda diagnostyki ciepłno-przepływowej umożliwiająca rozpoznawanie miejsca i stopnia degradacji turbozespołów energetycznych”*. W celu dokonania lokalizacji można używać model z perceptronem wielowarstwowym, natomiast do identyfikacji należy również użyć liniowy model sieci jednokierunkowej. Lokalizacja degradacji w przypadku użycia takiego modelu charakteryzowała się 97% skutecznością znajdowania degradacji, a identyfikacja osiągała trafność na poziomie 100% przy założeniu poprawnego pomiaru. Pozyskana dokładność jest bardzo satysfakcjonująca, ale wadą tej metody jest długotrwały trening sieci, dla każdego nowego obiektu w przypadku energetyki klasycznej dla bloków parowych należy przeprowadzić każdorazowo nowy trening sieci [110].

2.2 Idea algorytmów genetycznych

John Holland uważany jest za prekursora algorytmów genetycznych ponieważ w 1975 roku, jako pierwszy zaprezentował prosty przykład algorytmu genetycznego, który następnie rozwijany był przez innych naukowców [111]. Największy wkład w dalszych pracach nad rozwinięciem tego algorytmu miał Goldberg.

Algorytmy genetyczne wliczają się w poczet algorytmów ewolucyjnych [112] i wykorzystują wiedzę z nich wynikającą [113]. Algorytmy ewolucyjne oparte są o wiedzę wywodzącą się z obserwacji natury [114] oraz Darwinowskiej idei ewolucji a dokładniej mówiąc z mechanizmu dziedziczenia [115] oraz naturalnego doboru osobników, czyli podążają ideą Darwina. Algorytmy genetyczne używane są do rozwiązywania bardzo skomplikowanych i złożonych problemów optymalizacyjnych [116]–[118]. Optymalizacja ta stosowana jest przede wszystkim w zadaniach typu transportowego [119], [120], projektowego [121], ekonomicznego [65], [122], [123] czy medycznego [124], [125] gdzie ilość zmiennych jest bardzo duża i klasyczne podejście sprawia trudności obliczeniową. Główną zaletą omawianych algorytmów jest możliwość szybkiego zlokalizowania ekstremów globalnych [126], gdzie przez ekstremum globalne rozumie się minimum zaznaczone przez czerwony punkt (rys. 5) lub maksimum globalne [127]. Ekstremum globalne określa wartość minimalną lub maksymalną funkcji w jej dziedzinie [128], [129], w diagnostyce ciepłno-przepływowej występują one, jako syndromy.



Rys. 5 Funkcja przedstawiająca ekstremum. Czerwony punkt prezentuje minimum globalne.

W diagnostyce cieplno-przepływowej użycie algorytmu genetycznego lub tylko jego elementów daje możliwość na szybkie uzyskanie minimalnej odległości występującej między syndromem ukazującym wielkość degradacji a syndromem zasymulowanym w celu pozyskania tej degradacji. Dodatkowo należy wspomnieć, że w pracy tej nie znajduje zastosowania typowa optymalizacja, gdzie na podstawie danych wejściowych należy uzyskać optymalny wynik. W rozważanych badaniach mamy do czynienia bardziej z zadaniem odwrotnym niż w typowej optymalizacji, ponieważ znany jest wynik końcowy i dla niego należy odtworzyć dane wejściowe, które spowodowały zaistnienie danego wyniku. Inaczej mówiąc napotyka się tutaj modelowanie odwrotne [130].

2.3 Cel pracy

W pracy tej uwaga została skupiona na pozyskaniu diagnozy turbin parowych przy pomocy algorytmów genetycznych. W celu poparcia wyboru algorytmów genetycznych (tab. 3), a nie jak dotychczas najczęściej stosowanych sztucznych sieci neuronowych (tab. 4) została wykonana analiza SWOT, jest to akronim czterech angielskich słów (*Strengths* – silne strony, *Weaknesses* – słabe strony, *Opportunities* – szanse, okazje, *Threats* – zagrożenia).

Tab. 3 Analiza SWOT diagnostyki cieplno-przepływowej za pomocą algorytmów genetycznych.

| | Zalety | Wady |
|----------------------------|--|--|
| Cechy wewnętrzne: | <p>Mocne strony:</p> <ul style="list-style-type: none"> • uniwersalność algorytmu • rozwiązywanie skomplikowanych układów z dużą liczbą elementów <ul style="list-style-type: none"> • szybkość metody • prostota działania • możliwość użycia do optymalizacji • możliwość powtarzania wielu obliczeń | <p>Słabe strony:</p> <ul style="list-style-type: none"> • możliwość ominięcia rozwiązania w trakcie selekcji • występowanie błędów numerycznych • wystąpienie błędów pomiarowych wpływających na wynik końcowy |
| Czynniki zewnętrzne | <p>Szanse:</p> <ul style="list-style-type: none"> • rosnące zainteresowanie sztuczną inteligencją • możliwość zastosowania do innych obiektów turbinowych i przemysłowych <ul style="list-style-type: none"> • niewielka liczba aplikacji | <p>Zagrożenia</p> <ul style="list-style-type: none"> • błąd numeryczny • ograniczenia sprzętowe • ze względu na uniwersalność nie jest tak skuteczna jak wyspecjalizowane metody |

Tab. 4 Analiza SWOT diagnostyki ciepłno-przepływowej za pomocą sztucznych sieci neuronowych.

| | Zalety | Wady |
|----------------------------|---|---|
| Cechy wewnętrzne: | <p>Mocne strony:</p> <ul style="list-style-type: none"> rozwiązywanie skomplikowanych dostępna duża ilość typów sieci wyszukania rozwiązania zadania diagnostycznego z małym błędem ([19] lokalizacja degradacji 97%) szybkie obliczenia dla wyszkolonej sieci | <p>Słabe strony:</p> <ul style="list-style-type: none"> długi proces uczenia sieci brak uniwersalności posiadanie dużej ilości danych každorazowe uczenie sieci po dokonaniu zmian w badanym obiekcie zawsze daje wynik – zagrożenie dla początkujących badaczy |
| Czynniki zewnętrzne | <p>Szanse:</p> <ul style="list-style-type: none"> rosnące zainteresowanie sztuczną inteligencją rozszerzenie metody w kierunku Big Data Mining | <p>Zagrożenia:</p> <ul style="list-style-type: none"> brak danych potrzebnych do nauczania sieci błędne dane do nauki sieci w przypadku dużej ilości danych możliwość niedotrenowania |

Analiza SWOT pozwala na szybkie porównania obu rozważanych metod. Mocne strony i szanse metody diagnostyki z wykorzystaniem algorytmów genetycznych skłaniają do bardziej szczegółowych badań nad jej charakterystykami. Znaczącym czynnikiem motywującym jest niewielka liczba dotychczasowych jej aplikacji. W kolejnych częściach pracy zostanie przedstawiona dokładniej możliwość użycia algorytmów genetycznych do diagnostyki. Analiza przedstawiona w tym rozdziale pozwala na sformułowanie celu pracy.

Celem pracy kwalifikacyjnej jest budowa nowej metody diagnostyki ciepłno-przepływowej wykorzystującej niezbędne modele, procedury i inne elementy systemu algorytmów genetycznych. Oczekiwanym wynikiem funkcjonowania metody powinno być rozpoznawanie z wysoką dokładnością nie tylko przyczyn degradacji jednokrotnych, ale i wielokrotnych.

3 Opis obiektu badań

W niniejszej pracy obiektem badań została wybrana turbina parowa o mocy 200 MW (rys. 6), zainstalowana w polskiej elektrowni, a dokładniej na jednym z jej bloków parowych. Prezentowana turbina jest maszyną trzykadłubową składającą się z części wysokoprężnej (WP), średnioprężnej (SP) oraz niskoprężnej (NP). Rozważany obieg cieplny został wyposażony w siedem wymienników regeneracyjnych, ich zadaniem jest podniesienie temperatury pary wodnej, która pełni rolę czynnika roboczego. Liczba wymienników regeneracyjnych odpowiada liczbie upustów regeneracyjnych, których z kolei zadaniem jest dostarczenie pary do wymienników ciepła. W układzie tym zastosowano również odgazowywacz, który jest jednym z typów wymiennika cieplnego. Dodatkowo obieg ten wykorzystuje przegrzew między stopniowy, który ma za zadanie zwiększyć poziom suchości pary przepływającej przez ostatnie stopnie turbiny niskoprężnej, dzięki temu zabiegowi podnosi się sprawność turbiny w obiegu cieplnym oraz zwiększa się jego bezpieczeństwo pracy. Cały blok parowy jest bardzo dokładnie opomiarowany poprzez zastosowanie czujników umieszczonych na rurociągach parowych lub wodnych. Wynikiem takiego działania jest uzyskanie prawie jednocześnie około 3000 danych pomiarowych, z czego 154 dane dostarczają informacji o obiegu parowym. Pomiary te dotyczą [30]:

- ciśnienia;
- temperatury;
- masowego natężenia przepływu;
- mocy elektrycznej;
- natężenia prądu zasilającego silniki zainstalowane na bloku;
- napięcia prądu zasilającego silniki zainstalowane na bloku.

W celu dokonania obliczeń obieg (rys. 6) został przedstawiony w formie numerycznej (rys. 7), w tym celu użyto programu numerycznego Projdiag. Schemat numeryczny prezentowany jest w formie prostokątnych elementów oraz linii je łączących. Każdy taki prostokąt opisany jest dwoma numerami, pierwszy z nich określa rodzaj procedury obliczeniowej, natomiast drugi informuje o kolejności występowania elementów. Dodatkowo na schemacie znajdują się strzałki umieszczone na liniach łączących określają kierunek przepływu czynnika, także im przypisane są w programie DIAGAR numery, dzięki którym w łatwy sposób można odczytać wybrane parametry np. temperaturę, ciśnienie. Obliczenia występujące tutaj polegają na iteracyjnym sposobie rozwiązywania bilansów:

- masy; (6)

$$\sum m_j = 0 \quad (6)$$

- energii; (7)

$$m_j * h_j = 0 \quad (7)$$

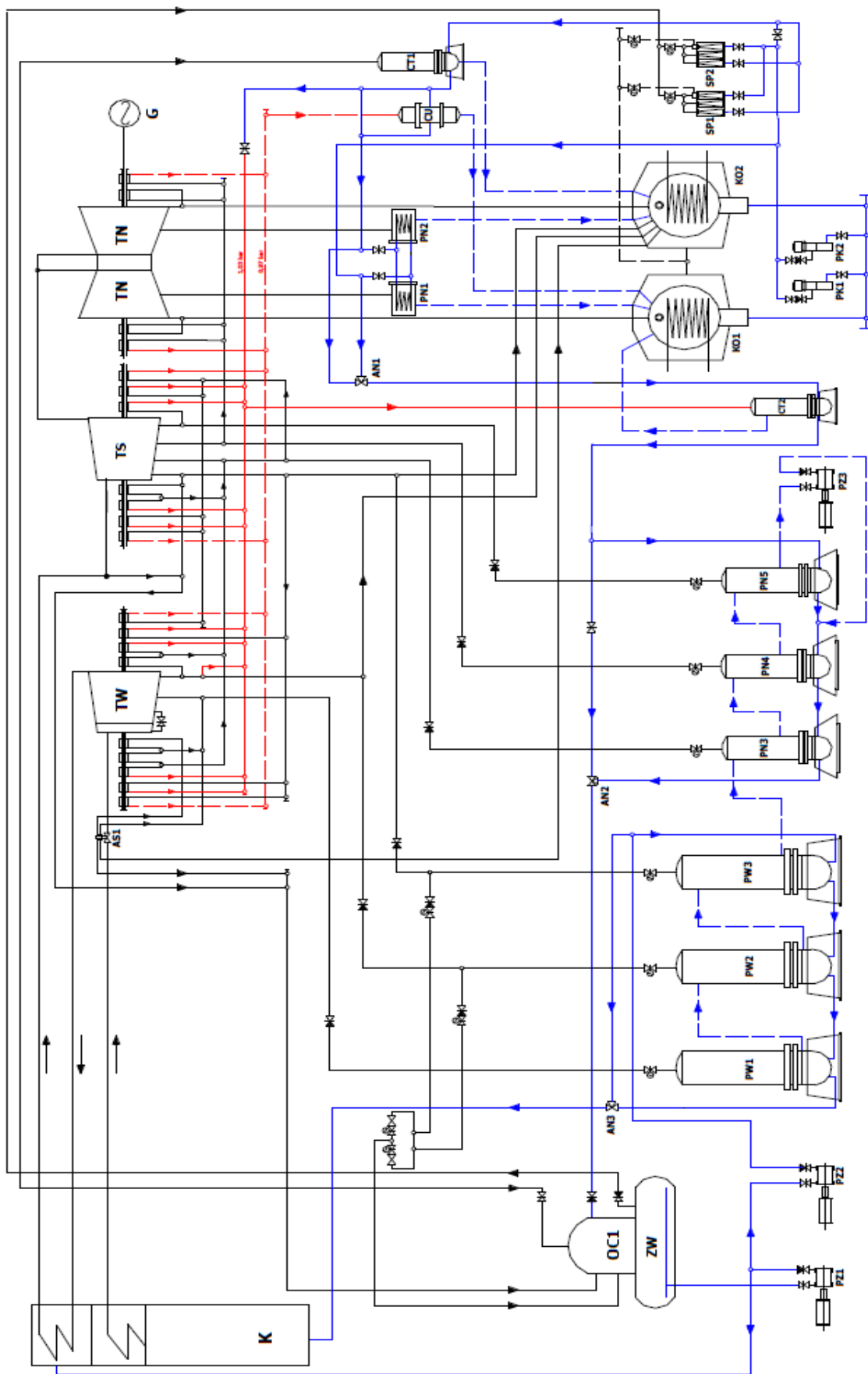
gdzie $h_j = f(p_j, t_j)$

- pędu. (8)

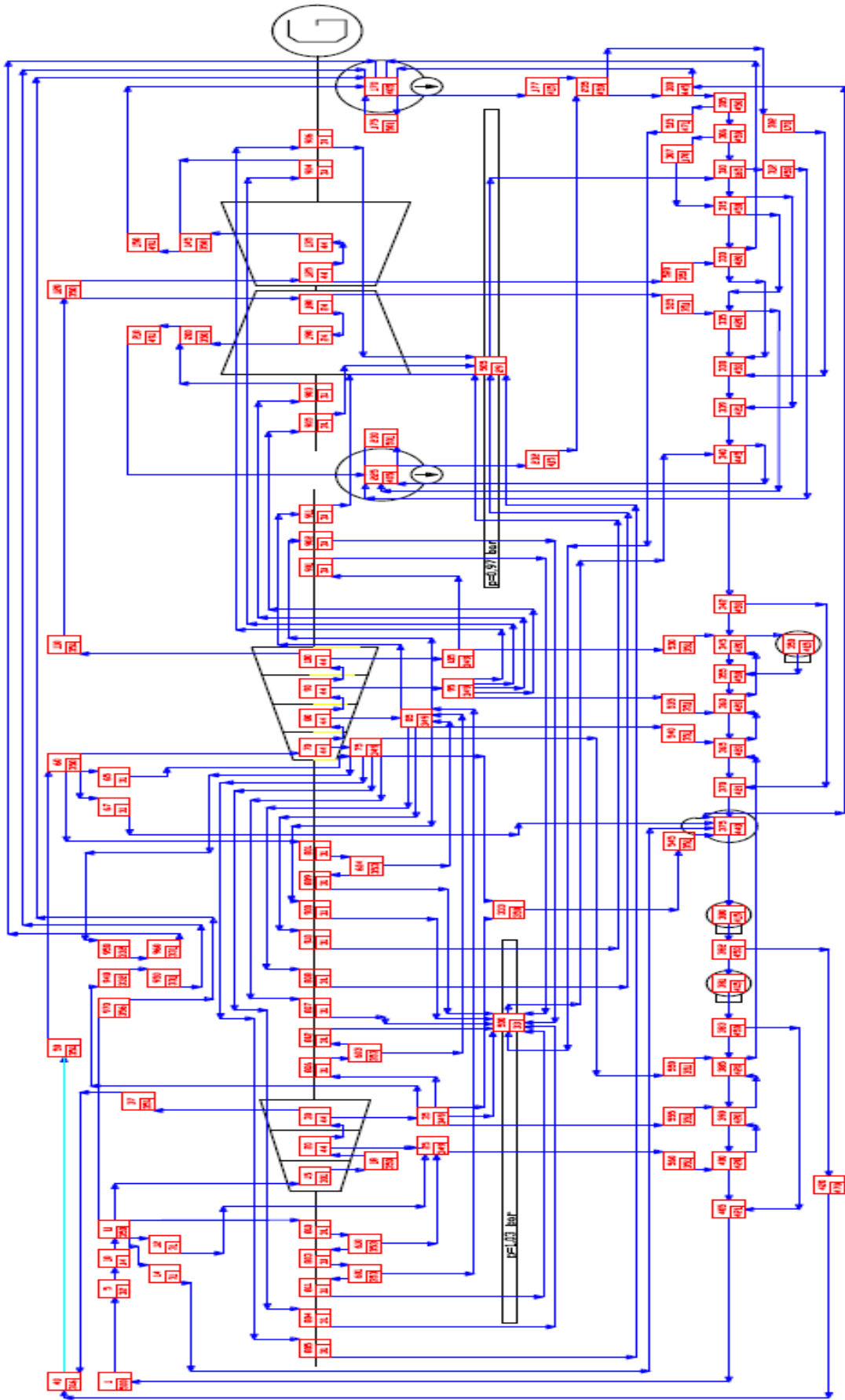
$$\sum m_j * c_j = 0 \quad (8)$$

gdzie $c_j = f(\text{wymiary}, v_j(p_j, t_j))$.

W obliczeniach została uwzględniona geometria dla kolejnych sekwencji urządzeń wchodzących w skład obiegu [131].



Rys. 6 Schemat funkcjonalny obiegu z zastosowaniem turbiny 200 MW. [88]

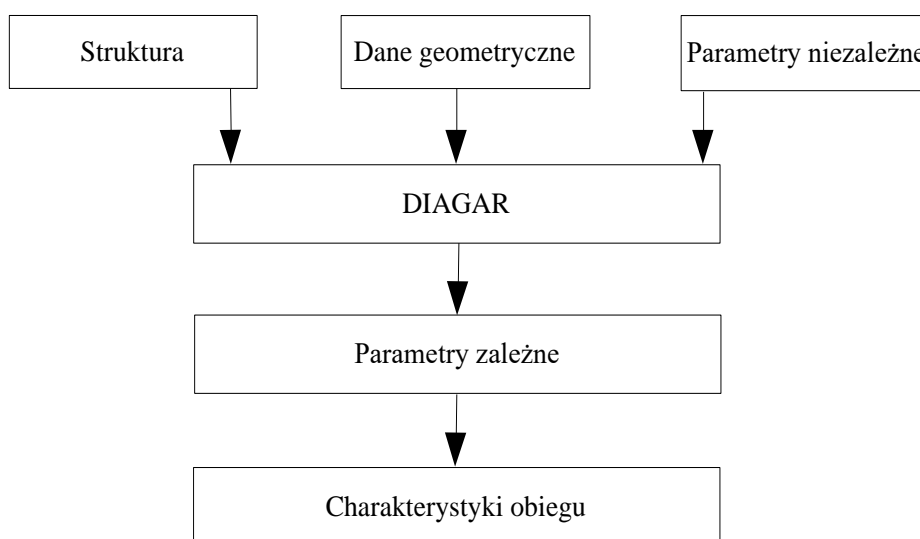


Rys. 7 Numeryczny schemat obiegu z turbiną 200 MW stworzony w programie Projdiag. [88]

4 Program numeryczny DIAGAR jako model obliczeniowy

W celu dokonania obliczeń numerycznych niezbędnych dla działania budowanej metody użyty został program DIAGAR. Program ten wykorzystywany jest do obliczeń obiegów cieplnych turbin parowych [132] i posłużono się w nim teorią grafów [53]. Dodatkowym zadaniem programu jest połączenie parametrów termodynamiczno-przepływowych, które mogą występować w dowolnym miejscu obiegu z charakterystykami przedstawiającymi aparaty, a także ich geometrię (rys. 8) [133]. Program DIAGAR może wykonywać trzy typy bilansów:

- tylko na podstawie pomierzonych parametrów;
- na podstawie konkretnej geometrii urządzeń;
- w użyciu tylko części pomiarów i zastąpieniem brakujących za pomocą obliczeń bilansowych, które wykorzystują informację geometrii urządzeń [134], [135].



Rys. 8 Tworzenie zbioru wyników w programie DIAGAR.

Program ten posługuje się zerowymiarowym modelem obliczeniowy obiegu cieplnego oraz szczegółowymi modelami od zerowymiarowych do dwuwymiarowych do obliczeń poszczególnych urządzeń składowych obiegu. Wykorzystano tutaj parametry zależne jak i nie zależne (tab. 5) w celu posłużenia się tutaj ze zmodyfikowanego prawa Flügla-Stodoli (9). Prawo to dotyczy przelotności turbiny i mówi w ogólnej postaci, jak w turbinie wielostopniowej natężenie przepływu jest zależne od parametrów czynnika na wlocie (p_o - ciśnienie na wlocie, v_o - objętość, p_k - ciśnienie skraplacza) [134], [135].

Tab. 5 Zestawienie parametrów zależnych i niezależnych użytych w programie DIAGAR.

| Parametr niezależny | Parametr zależny |
|---|---|
| moc [MW] | strumień masowy [kg/s] |
| natężenie przepływu pary świeżej [kg/s] | ciśnienie [bar] |
| ciśnienie pary świeżej [bar] | entalpia [kJ/kg] |
| temperatura pary świeżej [°C] | temperatura [°C] |
| temperatura przegrzewów [°C] | Entropia [kJ/kgK] |
| ciśnienie skraplania [bar] | strumień objętościowy [m ³ /s] |

$$\frac{m}{m_0} = \sqrt{\frac{T_{\alpha 0}}{T_{\alpha}} \frac{P_{\alpha 0}}{P_{\alpha}}} \sqrt{\frac{1 - \left(\frac{p_{\omega}}{p_{\alpha}}\right)^2}{1 - \left(\frac{p_{\omega 0}}{p_{\alpha 0}}\right)^2}} \quad (9)$$

gdzie:

- m - strumień masy w zmiennych warunkach pracy;
- m_o - strumień masy projektowej;
- $T\alpha_0$ - projektowa temperatura dolotu par do turbiny;
- $T\alpha$ - temperatura dolotu par do turbiny w zmiennych warunkach pracy;
- $P\alpha_0$ - projektowe ciśnienie dolotu pary do turbiny;
- $P\alpha$ - ciśnienie dolotu pary do turbiny w jej zmiennych warunkach pracy;
- p_ω - projektowe ciśnienie w skraplaczu;
- $p_{\omega 0}$ - ciśnienie skraplacza za turbiną w warunkach poza projektowych;

Program DIAGAR dostrajany jest indywidualnie do działania każdego bloku energetycznego w celu uzyskania jak najlepszych wyników. Przez najlepszy wynik rozumie się jak najmniejszą odchyłkę występującą pomiędzy wartością mierzoną a obliczeniową, w chwili obecnej wartość tej odchyłki oscyluje na poziomie 0,5%. Dodatkowo program działa w trybie off-line, a dane pomierzone zostają poddane obróbce poprzez wybranie okresów działania bloku energetycznego z jak największą stabilnością, a w kolejnym kroku na wyznaczeniu wartości średniej jak i średniego odchylenia standardowego dla mierzonych parametrów. Następnie przesyłane są one do miejsca przesłania informacji programu DIAGAR. Wynikiem działania programu są uzyskane wartości charakterystyczne badanego obiektu, czyli:

- sprawność obiegu (np. brutto),
- jednostkowe zużycie ciepła,
- sprawność elektryczna generatorów.

DIAGAR dodatkowo współpracuje programem numerycznym Projdiag (rys. 7), który został stworzony w celu tworzenia w nim numerycznych schematów obiegów cieplnych, które składają się z węzłów i łuków. Węzły łączone są między sobą za pomocą łuków i w węzłach dokonuje się obliczeń przemian energetycznych i przepływowych.

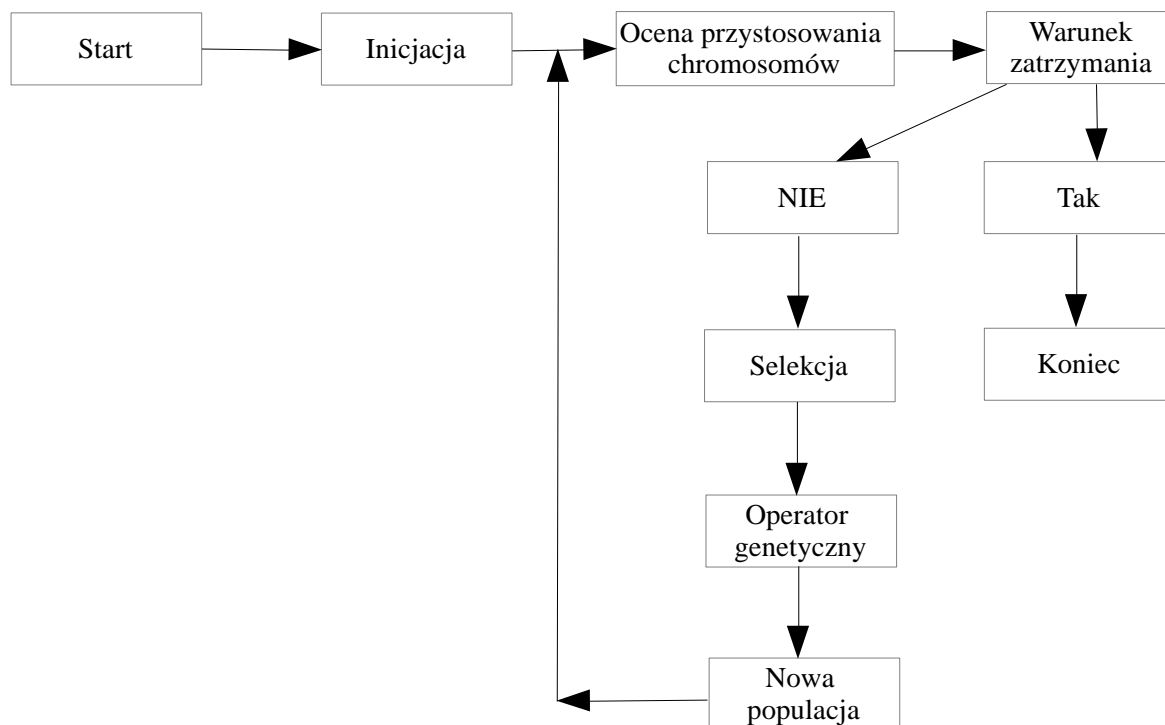
Schemat stworzony w programie Projdiag wprowadza się do programu DIAGAR. Dodatkowo program ten można wykorzystywać na dwa sposoby jako:

- symulator dla procesów fizycznych,
- narzędzie do uzyskania cieplno-przepływowych relacji diagnostycznych [53].

W pracy tej program DIAGAR wykorzystywany jest do dokonania obliczeń symulacyjnych badanego obiektu.

5 Algorytm genetyczny

W pracy tej wspomniano już o algorytmach genetycznych. W omawianych badaniach nie został użyty typowy algorytm genetyczny tylko jego wybrane etapy które to miały na celu pomoc przy uzyskaniu diagnozy w diagnostyce ciepłno-przepływowej. Twórcą pierwszego algorytmu genetycznego był Holland i składał się z siedmiu etapów występujących po sobie (rys. 9) [111]. Nazewnictwa stosowanego w metodach algorytmów genetycznych oraz ich odpowiedniki w diagnostyce ciepłno-przepływowej przedstawiono w tab. 6.



Rys. 9 Schemat działania standardowego algorytmu genetycznego na podstawie [113].

Tab. 6 Opis definicji dla metody algorytmów genetycznych i dla diagnostyki ciepłno-przepływowej.

| Pojęcie | Definicja | Definicja dla diagnostyki ciepłno-przepływowej obiegów ciepłych |
|------------------|---|---|
| Gen | Pojedynczy element genotypu | Wartość binarna na określonej pozycji w rozwinięciu binarnym parametru geometrycznego |
| Chromosom | Uporządkowany łańcuch genów | Liczba binarna reprezentująca parametr geometryczny |
| Genotyp | Zespół chromosomów danego osobnika | Zespół liczb binarnych opisujących parametry geometryczne urządzenia |
| Osobnik | Zakodowane dane w chromosomach | Urządzenie podlegające degradacji eksploatacyjnej |
| Populacja | Zbiór o określonym rozmiarze składający się z osobników | Zbiór urządzeń podlegających degradacji eksploatacyjnej |
| Fenotyp | Zbiór parametrów zadania | Syndrom złożony z symptomów |

Pierwszy krokiem w przypadku działania algorytmów genetycznych jest inicjacja całego algorytmu poprzez stworzenie początkowej populacji [136], [137]. Następnie występuje ocena przystosowania chromosomów w populacji i dotyczy ona każdego chromosomu który występuje w rozważanej populacji [138]. Funkcja przystosowania w zadaniach optymalizacyjnych poszukuje wartości ekstremalnej dla danej funkcji. Trzeci etap dotyczy warunku zatrzymania i jest zależny od sposobu zastosowania AG [139]. Występują dwa warunki zatrzymania pierwszy z nich występuje, kiedy rozważany problem dotyczy zadania optymalizacyjnego, w takim wypadku warunkiem może być wyznaczenie optymalnej wartości (wartość minimum lub maksimum). Kolejny przypadek może

wystąpić po określonym czasie działania algorytmu lub kiedy jego działanie nie poprawia wyniku. Etap czwarty wprowadza selekcję chromosomów [140], gdzie do stworzenia populacji wybierane są chromosomy posiadające funkcję przystosowania o największej wartości [141]. Wadą takiego postępowania jest ograniczenie różnorodności genów. W diagnostyce cieplno-przepływowej wykorzystuje się selekcję rankingową. Piąty etap dotyczy operatora genetycznego, który używa się do utworzenia populacji z chromosomów otrzymanych po czwartym etapie. Można tutaj wyróżnić operator krzyżowania i mutacji [142]. Operator krzyżowania stosowany jest częściej niż mutacja, dokładne działanie tych operatorów zostanie przedstawione w dalszej części rozdziału. Przedostatni etap dotyczy tworzenia nowej populacji z chromosomów powstałych po zastosowaniu operatorów z poprzedniego etapu [143]. Nową populację można poddać określonemu działaniu, czyli dokonać sprawdzenia zatrzymania algorytmu albo wyprowadzić określony chromosom. Ostatni etap polega na wyprowadzeniu „najlepszego” chromosomu etap ten występuje w momencie spełnienia warunku zatrzymania [144]. Takie postępowanie pozwala uzyskać wynik dla całego algorytmu genetycznego. Schemat takiego postępowania został wykorzystany do stworzenia algorytmu do DCP.

Ważnym elementem omówionego powyżej algorytmu jest procedura selekcji występująca jako czwarty etap. Procedura ta dokonywana jest poprzez wybór odpowiednich chromosomów z populacji w celu przeprowadzenia na nich kolejnych omówionych wcześniej operacji występujących w algorytmie [145]. Przeprowadzenie procedury selekcji jest trudne ze względu na wybór odpowiedniej metody, istnieją różne sposoby na dokonanie selekcji, ale najczęściej stosuje się metodę ruletki [146], na dalszym miejscu znajduje się selekcje turniejową [147] czy rankingową. W przypadku koła ruletki dokonuje się przypisania elementu koła ruletki określonemu chromosomowi (w przypadku diagnostyki cieplno-przepływowej przez chromosom rozumie się liczbę binarną reprezentującą parametr geometryczny), otrzymana wielkość takiego wycinka jest proporcjonalna do wartości funkcji przystosowania, przy czym suma każdej wartości funkcji przystosowania równa się całemu polu koła ruletki. Największą szansę na wybór posiadają chromosomy o największym polu [113]. Metoda ta ma znaczącą wadę, ponieważ eliminuje się najczęściej te osobniki, których powierzchnia koła jest najmniejsza. Dokładniej procedura selekcji zastosowana w autorskim modelu obliczeniowym zostanie przedstawiona w dalszej części pracy.

Parametrami geometrycznymi w diagnostyce cieplno-przepływowej są chromosomy tworzące genotyp stanu degradacji obiegu turbiny. Poprawnej pracy obiegu przypisany jest charakterystyczny genotyp, w którym to chromosomy (parametry geometryczne) mają wartości projektowe. Odstępstwo od parametru projektowego przedstawia degradację eksploatacyjną. W wyniku pracy obiektu tworzy się reprezentatywnym syndromem tej degradacji. Zastosowanie metod algorytmów genetycznych dotyczy:

- zmian geometrii;
- nowo tworzonych symptomów;
- warunku zatrzymania działania algorytmu;
- procedury selekcji.

5.1 Operator genetyczny

Operator genetyczny używany jest w celu stworzenia nowej populacji z chromosomów wybranych po etapie selekcji. Operatorem genetycznym jest krzyżowanie oraz mutacja, przy czym częściej stosowanym operatorem jest krzyżowanie niż mutacja. W pracy tej przy tworzeniu ideowego modelu obliczeniowego wykorzystano operator krzyżowania, gdzie założono, że nowo powstałe dane (symptomy) musiały mieścić się w wartościach zmierzonych jak i w przedziałach liczbowych wyznaczonych przez wartości minimalne jak i maksymalne. Przy tworzeniu uniwersalnego modelu pozwalającego na poszukiwanie degradacji wielokrotnych dokonano zamiany operatora krzyżowania na operator mutacji.

Operator krzyżowania ma za zadanie wymieszanie genów znajdujących się w chromosomie, a w przypadku diagnostyki dochodzi tutaj do wymieszania symptomów występujących w populacji. Można wyróżnić trzy rodzaje krzyżowania [113]:

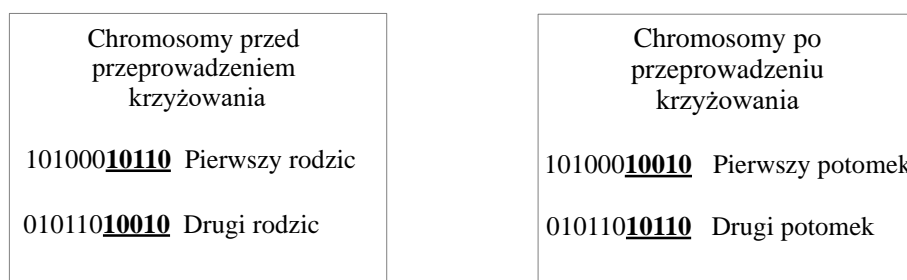
- jednopunktowe;
- wielopunktowe;



- równomierne.

Najczęściej stosowany jest pierwszy rodzaj, czyli krzyżowanie jednopunktowe i dla niego zostaną przedstawione kolejne kroki procesu. Procedura krzyżowania przebiega w dwóch etapach. Pierwszym z nich jest wybór najczęściej w sposób losowy dwóch chromosomów lub ich wielokrotności. Chromosomy te wybiera się z puli rodziców inaczej mówiąc z populacji rodzicielskiej, która to składa się z wyselekcjonowanych chromosomów wybranych po procesie selekcji [148]. Należy następnie wyznaczyć punkt krzyżowania L_k występujący w chromosomach o liczbie genów L [149]. Przy wyznaczeniu miejsca krzyżowania nie należy wybierać genu znajdującego się na ostatnim miejscu w chromosomie. Dzięki procesowi krzyżowania uzyskuje się dwa nowe chromosomy, składają się one z fragmentu kody pierwszego rodzica oraz fragmentu kodu drugiego rodzica [150].

Prosty przykład krzyżowania jednopunktowego przedstawia rys. 10, chromosomy, dla których dokonano procesu krzyżowania składają się z jedenastu genów. Wylosowano miejsce krzyżowania L_k występujące po genie szóstym w wyniku, czego doszło do rozdzielenia dwóch chromosomów a następnie połączeniu ich fragmentów. W wyniku takiego postępowania uzyskano dwa nowe chromosomy nazywane parą potomków, składają się one z lewej części jednego rodzica oraz z prawej części drugiego rodzica.



Rys. 10 Przykład przeprowadzonej operacji krzyżowania na chromosomach.

Operator mutacji stosowany jest znacznie rzadziej niż krzyżowanie pomimo tego, że procedura postępowania w mutacji jest łatwiejsza niż w omówionym wcześniej krzyżowaniu [151]. Mutacja przeprowadzana jest dla każdego chromosomu osobno poprzez wylosowanie jednego genu lub ich większej ilości, a w następnym kroku dochodzi do zamiany wartości genu na przeciwny, czyli 0 na 1 i na odwrót [45].

Prosty przykład działania mutacji (rys. 11) dokonano dla chromosomu składającego się szesnastu genów. Procedura mutacja przeprowadzono tutaj dla jednego genu umieszczonego na czwartej pozycji, przed mutacją posiadał on wartość 1 a po wartość 0.



Rys. 11 Przykład przeprowadzenia operacji mutacji.

6 Budowa metody diagnostyki

Siłownie turbinowo-parowe pracujące w rzeczywistych warunkach ulegają degradacji geometrycznej na skutek naturalnych procesów eksploatacyjnych, dodatkowo siłownie te bardzo często pracują w warunkach off-design, czyli tzw. warunkach poza projektowych. Pomiarów dostarczonych z obiektu badań pozwalają na stworzenie syndromów degradacji za pomocą wartości symptomów. Dla celów niniejszej pracy przyjęto, że syndromy zostaną wyznaczone w procesie symulacyjnych obliczeń degradacji. Głównym założeniem użytym w tej pracy było to, aby wartości zmian geometrii projektowej dla urządzeń składowych występujących w obiegu była w ich możliwym fizycznym zakresie i aby zmiany te nie powodowały jeszcze awaryjnego zatrzymania. W pracy uwaga została skupiona tylko na kadłubie WP oraz SP, jako na obiektach podlegających degradacji. Obiekty te posiadają kilkaset projektowych parametrów geometrycznych, z których wybrano dwadzieścia dwa na podstawie fizycznego opisu procesów degradacji eksploatacyjnej i dla nich dokonano zmiany wartości parametrów, wywołane one zostały na skutek degradacji. Wybranymi parametrami są:

- luzy w uszczelnieniach skrzynek dyszowych WP;
- luzy w uszczelnieniach skrzynek dyszowych SP;
- luzy w uszczelnieniach kadłuba wewnętrznego WP;
- luzy w uszczelnieniach kadłuba wewnętrznego SP;
- 18 wartości związanych z geometrią 6 grup stopni WP i SP i złożonych dla każdej z tych grup stopni z: luzów w uszczelnieniach wewnętrznych stopni turbinowych, ich chropowatości oraz zniszczeń krawędzi spływu.

Wartości te zostały wybrane, ponieważ zmiany ich parametrów nie mają wpływu na awarie, w których konieczne jest natychmiastowe wyłączenie bloku. Dla wszystkich 22 wartości w tab. 7 przedstawiono zakres zmienności wartości tych parametrów. Pozostałe parametry są niezmiennione, ponieważ dotyczą one wymiarów kanału przepływowego a także mocowań łopatek jak i geometrii uszczelnień. Chropowatość posiada jednostkę mm wyrażoną jako średnią średnicę ziarna odpowiadającą chropowatości powierzchni nierówności na powierzchni.

Tab. 7 Zakres zmienności wartości parametrów degradowanych w części WP oraz SP.

| Numer identyfikatora geometrycznego | Nazwa parametru geometrycznego podlegającego degradacji | Zmienność |
|-------------------------------------|---|----------------------------|
| 1 | Luz w uszczelnieniu skrzynki dyszowej zaworu regulacyjnego WP | Wzrost od 2.15 do 8.15 mm |
| 2 | Luz w uszczelnieniu zewnętrznym kadłuba WP | Wzrost od 0.8 do 4.8 mm |
| 3 | Luz w uszczelnieniach 1 GS WP | Wzrost od 0 do 5 mm |
| 4 | Chropowatość układu łopatkowego 1 GS WP | Wzrost od 0 do 1000 |
| 5 | Krawędzie spływowe profili 1 GS WP | Wzrost od 0 do 5% |
| 6 | Luz w uszczelnieniach 2 GS WP | Wzrost od 0 do 5 mm |
| 7 | Chropowatość układu łopatkowego 2 GS WP | Wzrost od 0 do 1000 |
| 8 | Krawędzie spływowe profili 2 GS WP | Wzrost od 0 do 5% |
| 9 | Luz w uszczelnieniu skrzynki dyszowej zaworu regulacyjnego SP | Wzrost od 6.70 do 12.70 mm |
| 10 | Luz w uszczelnieniu zewnętrznym kadłuba SP | Wzrost od 0.8 do 4.8 mm |
| 11 | Luz w uszczelnieniach 3 GS SP | Wzrost od 0 do 5 mm |
| 12 | Chropowatość układu łopatkowego 3 GS SP | Wzrost od 0 do 1000 |
| 13 | Krawędzie spływowe profili 3 GS SP | Wzrost od 0 do 5% |
| 14 | Luz w uszczelnieniach 4 GS SP | Wzrost od 0 do 5 mm |
| 15 | Chropowatość układu łopatkowego 4 GS SP | Wzrost od 0 do 1000 |
| 16 | Krawędzie spływowe profili 4 GS SP | Wzrost od 0 do 5% |
| 17 | Luz w uszczelnieniach 5 GS SP | Wzrost o 0 do 5 mm |
| 18 | Chropowatość układu łopatkowego 5 GS SP | Wzrost o 0 do 1000 |
| 19 | Krawędzie spływowe profili 5 GS SP | Wzrost od 0 do 5% |

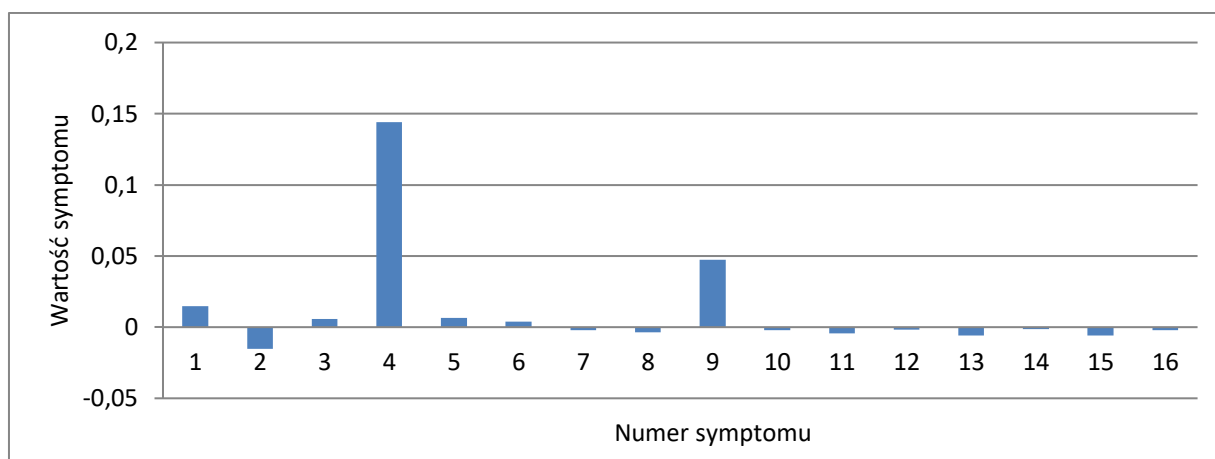
| | | |
|----|---|---------------------|
| 20 | Luz w uszczelnieniach 6 GS SP | Wzrost od 0 do 5 mm |
| 21 | Chropowatość układu łopatkowego 6 GS SP | Wzrost od 0 do 1000 |
| 22 | Krawędzie spływowe profili 6 GS SP | Wzrost od 0 do 5% |

Wartości projektowe wymienionych parametrów jak i wartości symulacyjnie zdegradowane stanowiły wielkości wejściowe do programu numerycznego DIAGAR, przykład takiego pliku wprowadzanego do programu zaprezentowano w załączniku 1. Wartości projektowe służyły do wyznaczenia syndromu poprawnej pracy (brak degradacji) inaczej zwanej syndromem bazowym, natomiast w pozostałych przypadkach służyły do wyznaczenia syndromów dla różnych degradacji. Każda syndrom wykorzystany w tej pracy charakteryzuje się 16 parametrami, które to mogą być mierzone lub wyznaczone na podstawie pomiaru w otoczeniu korpusu WP i SP i w upuście NP:

- 1 moc bloku;
- 2 jednostkowe zużycie ciepła;
- 3 ciśnienie pary w I upuście;
- 4 temperatura pary w I upuście;
- 5 ciśnienie pary w II upuście;
- 6 temperatura pary w II upuście;
- 7 ciśnienie pary w III upuście;
- 8 temperatura pary w III upuście;
- 9 ciśnienie pary w IV upuście;
- 10 temperatura pary w IV upuście;
- 11 ciśnienie pary w V upuście;
- 12 temperatura pary w V upuście;
- 13 ciśnienie pary w VI upuście;
- 14 temperatura pary w VI upuście;
- 15 ciśnienie pary w VII upuście;
- 16 temperatura pary w VII upuście.

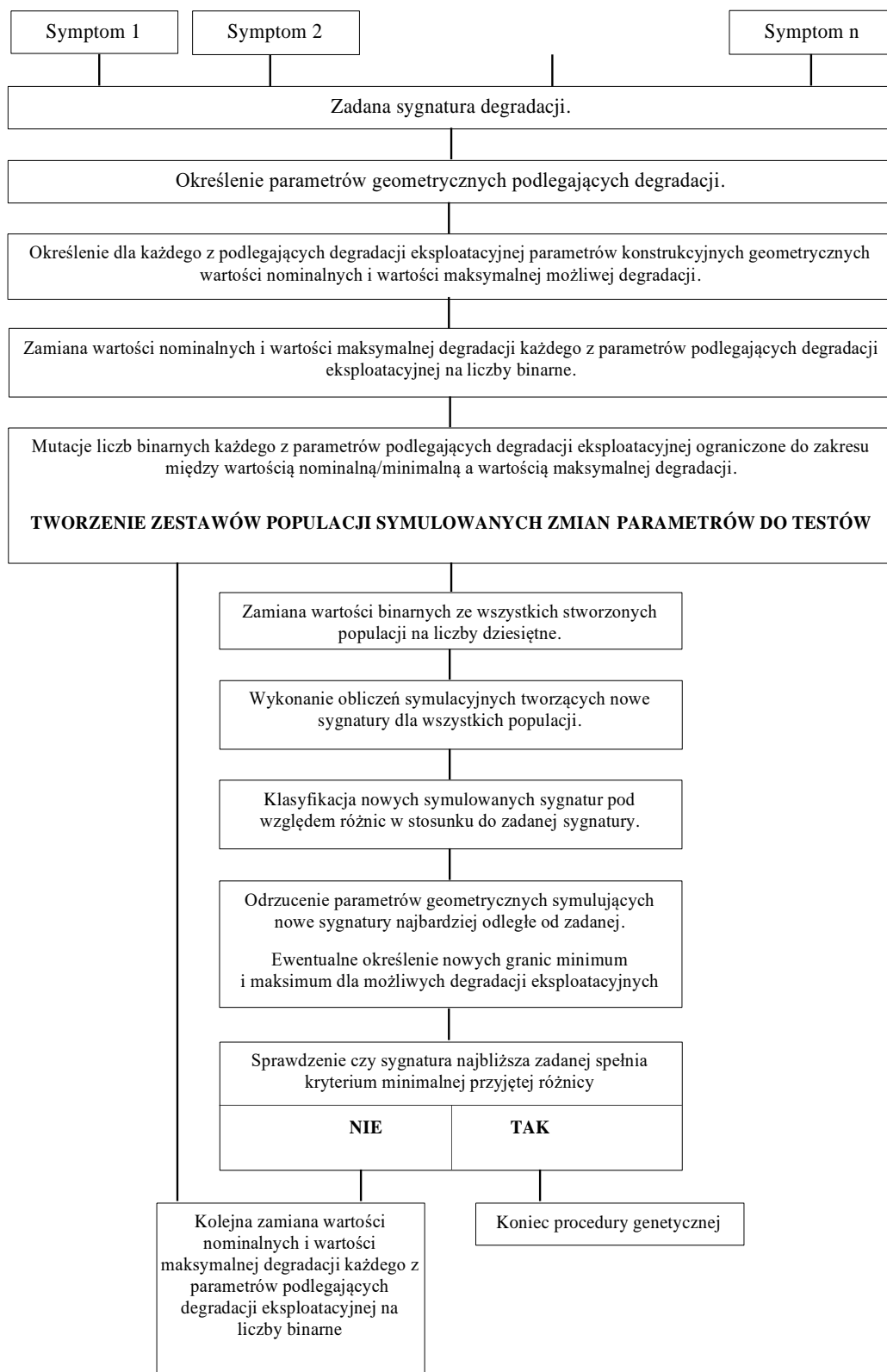
Przykład takiego syndromu dla pojedynczej degradacji zaprezentowano na rys. 12, w celu jego stworzenie należało odczytać dane z pliku powstałego w programie DIAGAR i przykład takiego pliku zawiera załącznik 2.

W pracy tej na samym początku rozważano degradacje jednokrotne, czyli takie, gdzie w jednym momencie degradacji ulega tylko jeden element geometryczny i w tym celu wykonany został model diagnostyczny. W kolejnych krokach model ten ulegał zmianom aż po kilku próbach udało się stworzyć taki model, który pozwolił na dokonanie badań na degradacjach wielokrotnych, czyli takich, gdzie jednocześnie przynajmniej dwa elementy geometryczne ulegają zmianie. Przyjęto, że maksymalna liczba degradujących się parametrów w jednym momencie wynosi w tych badaniach cztery, ograniczenie to wynika z czasu potrzebnego na obliczenia (jest on zależy od sprzętu komputerowego).



Rys. 12 Syndrom przedstawiająca luz w uszczelnieniach stopni pierwszej grupy stopni WP wyznaczona dla jednokrotnych degradacji.

Badania wykonane w ramach pracy kwalifikacyjnej doprowadziły do stworzenia autorskiego modelu numerycznego do wyznaczenia degradacji występujących w turbinach parowych z wykorzystaniem elementów algorytmów genetycznych, opracowano i wykorzystano na samym początku własny schemat ideowy (rys. 13). Prezentuje on pierwsze podejście, do poszukiwania degradacji badanego obiektu. W trakcie pracy schemat ten był zmieniany część występująca w nim została zmieniona lub zastąpiona lub odrzucona. Zmiany te wynikały między innymi z: dążeniu do uproszczenia schematu, braku możliwości uzyskania wyniku lub uzyskania niesatysfakcjonującego wyniku Kolejnym powodem do zmian były zastosowane metody do pozyskania jednokrotnych degradacji, które nie pozwalały na zastosowanie ich do wyznaczenia degradacji wielokrotnych W załączniku 3 schemat ideowy (rys. 13) został dokładniej przedstawiony. W dalszej części pracy zostanie zaprezentowane działanie finalnej wersji modelu.

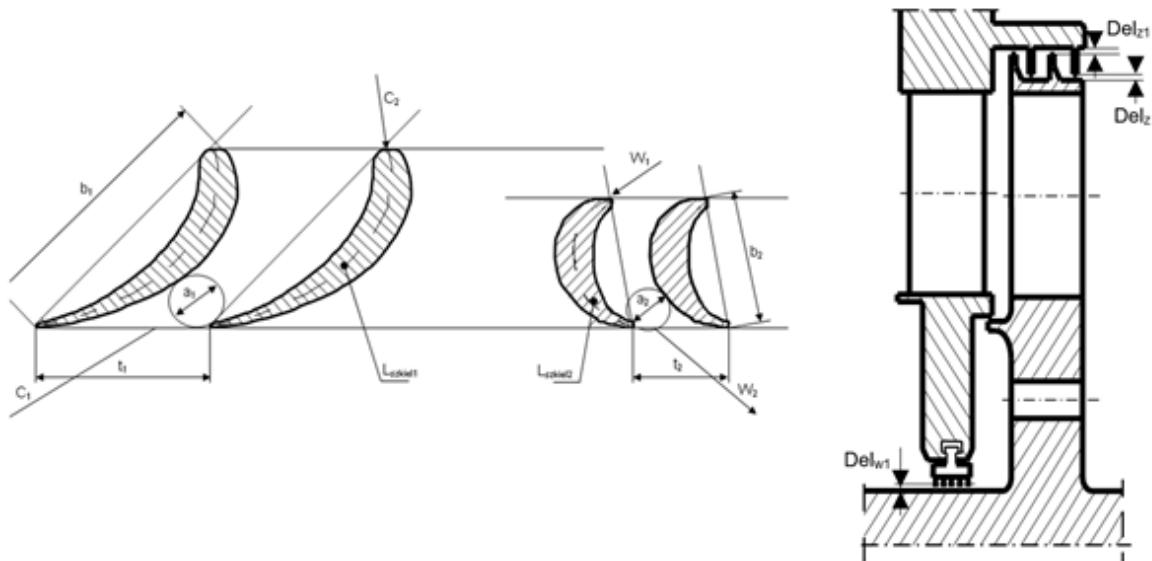


Rys. 13 Schemat ideowy programu mającego na celu określenie lokalizacji i identyfikacji przyczyn degradacji eksploatacyjnej w układzie łopatkowym turbin parowych [31].

6.1 Zmienne występujące w programie

W przypadku rzeczywistych obiegów cieplnych dane do stworzenia syndromów pozyskiwane są z pomiarów, a w przypadku tej pracy uzyskuje się je w poprzez numeryczne symulacje degradacji. Symulacje degradacyjne dokonywane są na rzeczywistych danych pochodzących z elektrowni o mocy 200 MW. Badania przeprowadzone są zbieżne z realnymi wartościami, ponieważ wykorzystano program numeryczny DIAGAR, w którym oprócz obliczeń symulacyjnych można dokonywać obliczeń rzeczywistych. Program ten wcześniej został dostrojony dla jednego z bloków energetycznych polskiej elektrowni i dla tego obiektu dokonano pomiarów.

Praca ta odnosi się do typowej diagnostyki off-line. Symulowaną degradację eksploatacyjną uzyskuje się poprzez zmiany w geometrii konstrukcyjnej przedstawionej na rys. 14. W badaniach uwaga została skupiona na części średnio oraz wysokoprężnej turbiny parowej. Przykładowy zestaw danych geometrycznych dla jednego ze stopni turbiny przedstawia część b) rys. 15, natomiast w części a) przedstawiono również skrótowy nazw każdego z parametrów występujących w danym zestawie. W przypadku wystąpienia degradacji występowała ona na każdym takim stopniu w danym rozważanym numerze turbiny. Pełne nazwy danych geometrycznych zostały przedstawione w tab. 8, zestaw ten został stworzony dla przepływu 1D i złożony jest z 46 danych geometrycznych. Degradacji ulegają tylko wybrane parametry, których zmiana nie będzie powodowała krytycznej awarii. Niezmienionymi wartościami są te, które dotyczą granicznych wymiarów kanału przepływowego oraz geometrii mocowań uszczelnień, a także łopatek.



Rys. 14 Geometria stopnia turbiny poddanego degradacji gdzie: a_1 średnica wlotu kierownicy, b_1 cięciwa profilu kierownicy, t_1 skok kierownicy, C_1 prędkość bezwzględna na wlocie kierownicy, W_1 prędkość względna na wlocie wirnika, a_2 średnica wlotu wirnika, b_2 cięciwa wirnika, t_2 skok wirnika, C_2 prędkość bezwzględna na wylocie wirnika, W_2 prędkość bezwzględna na wylocie wirnika, L_{szkie1} długość linii szkieletowej profilu kierownicy, L_{szkie2} długość linii szkieletowej łopatek wirnika, Del_{z1} - luz uszczelnienia zewnętrznego stopnia, Del_{w1} - luz wewnętrzny segmentów dławnic zwykłych.

| a) | | | | | | | |
|--------------|--------------|-------------|-------------|-----------------|--------------|--------------|--------|
| $D1_w$ | $D2_w$ | $D3_w$ | 11 | 12 | 10 | ta_1 | ta_2 |
| z_1 | z_2 | dz_1 | $Delz_1$ | Zz_1 | dz_2 | Zz_2 | dz_2 |
| D_w | Δ_w | S_w | Z_w | Z_{wn} | d_w | Δw_1 | ro |
| D_0 | d_0 | n_0 | $b1_0$ | ϵ_{ad} | $Dzeta2_d$ | $\alpha2_0$ | Ra_1 |
| Ra_2 | a_1 | a_2 | b_1 | b_2 | $\beta a1_0$ | e_1 | e_2 |
| Δa_1 | Δa_2 | $Lszkiel_1$ | $Lszkiel_2$ | a_{1w} | a_{2w} | | |
| b) | | | | | | | |
| 812. | 809. | 809. | 94.5 | 98. | 94.5 | 94. | 36. |
| 36. | 164. | 1010. | .521 | 0. | 0. | 0. | 0. |
| 444. | 0.8 | 5. | 12. | 4. | 804. | 3.58 | 2. |
| 640. | 30. | 7. | 11. | 0. | 0. | 90. | 16.E-5 |
| 22.E-5 | 15.75 | 5.29 | 121.42 | 27.08 | 34.50 | 422.24 | 74.67 |
| 0.686 | 0.606 | 133. | 38.3 | 14.1 | 17.39 | | |

Rys. 15 Przykładowy zestaw danych geometrycznych jednego ze stopni turbinowych: a) oznaczenia występujących elementów geometrycznych, b) wartość danych.

Tab. 8 Pełny opis nazw użytych do opisanie zestawów danych geometrycznych na rys. 15.

| Skrót | Nazwa |
|--------------|---|
| $D1_w$ | Średnica stóp kierownicy |
| $D2_w$ | Średnica stóp wirnika |
| $D3_w$ | Średnica stóp średnia stopnia |
| 11 | Długość łopatki kierowniczej |
| 12 | Długość łopatki wirnikowej |
| 10 | Długość średnia łopatki |
| ta_1 | Podziałka kierownicy |
| ta_2 | Podziałka wirnika |
| z_1 | Liczba łopatek kierownicy |
| z_2 | Liczba łopatek wirnika |
| dz_1 | Średnica uszczelnienia zewnętrznego |
| $Delz_1$ | Luz uszczelnienia zewnętrznego |
| Zz_1 | Liczba blaszek 1. segmentu uszczelnienia |
| dz_1 | Średnica 1. segmentu uszczelnienia |
| Zz_2 | Liczba blaszek 1. segmentu uszczelnienia |
| dz_2 | Średnica 2. segmentu uszczelnienia |
| D_w | Średnica uszczelnienia wewnętrznego |
| Δw | Luz uszczelnienia wewnętrznego |
| S_w | Odległość blaszek uszczelnienia wewnętrznego |
| Z_w | Liczba blaszek uszczelnienia niepełnego |
| Z_{wn} | Liczba blaszek uszczelnienia pełnego |
| d_w | Średnica uszczelnienia niepełnego |
| Δw_1 | Luz uszczelnienia niepełnego |
| Ro | Współczynnik eżekcji |
| D_0 | Średnica rozmieszczenia otworów odciążających |
| d_0 | Średnica otworów odciążających |
| n_0 | Liczba otworów odciążających |
| $b1_0$ | Szerokość wieńca |

| | |
|----------------------|--|
| Etad | Sprawność dyfuzji |
| Dzeta _{2d} | Współczynnik dyfuzji |
| alfa ₂₀ | Geometryczny absolutny kąt wylotu z wirnika |
| Ra ₁ | Miara chropowatości kierownicy |
| Ra ₂ | Miara chropowatości wirnika |
| a ₁ | Gardło kanału kierownicy na średnicy podziałowej |
| a ₂ | Gardło kanału wirnika na średnicy podziałowej |
| b ₁ | Cięciwa profilu kierownicy |
| b ₂ | Cięciwa profilu wirnika |
| beta ₁₀ | Geometryczny kąt dolotu do wirnika |
| e ₁ | Promień krzywizny profilu kierownicy |
| e ₂ | Promień krzywizny profilu wirnika |
| Delta ₁ | Grubość krawędzi spływu profilu kierownicy |
| Delta ₂ | Grubość krawędzi spływu profilu wirnika |
| Lszkiel ₁ | Długość linii szkieletowej profilu kierownicy |
| Lszkiel ₂ | Długość linii szkieletowej profilu wirnika |
| a _{1w} | Gardło kanału kierownicy u stopy |
| a _{2w} | Gardło kanału wirnika u stopy |

6.2 Procedura selekcji

W przedstawionym autorskim modelu obliczeniowym do celów diagnostycznych najtrudniejszym etapem jest selekcja, do której podejście w pracy było kilkakrotnie zmieniane. Dla degradacji jednokrotnych proces selekcji nie stwarza zasadniczo trudności, ale już w przypadku dwóch i większej liczbie degradacji, czyli dla degradacji wielokrotnych zaczynają się problemy z tym procesem. Problemy te wynikają z oddziaływania na siebie różnych czynników i bardzo wielu możliwości kombinacji występujących degradacji, a także z ograniczeń wynikających z programu numerycznego.

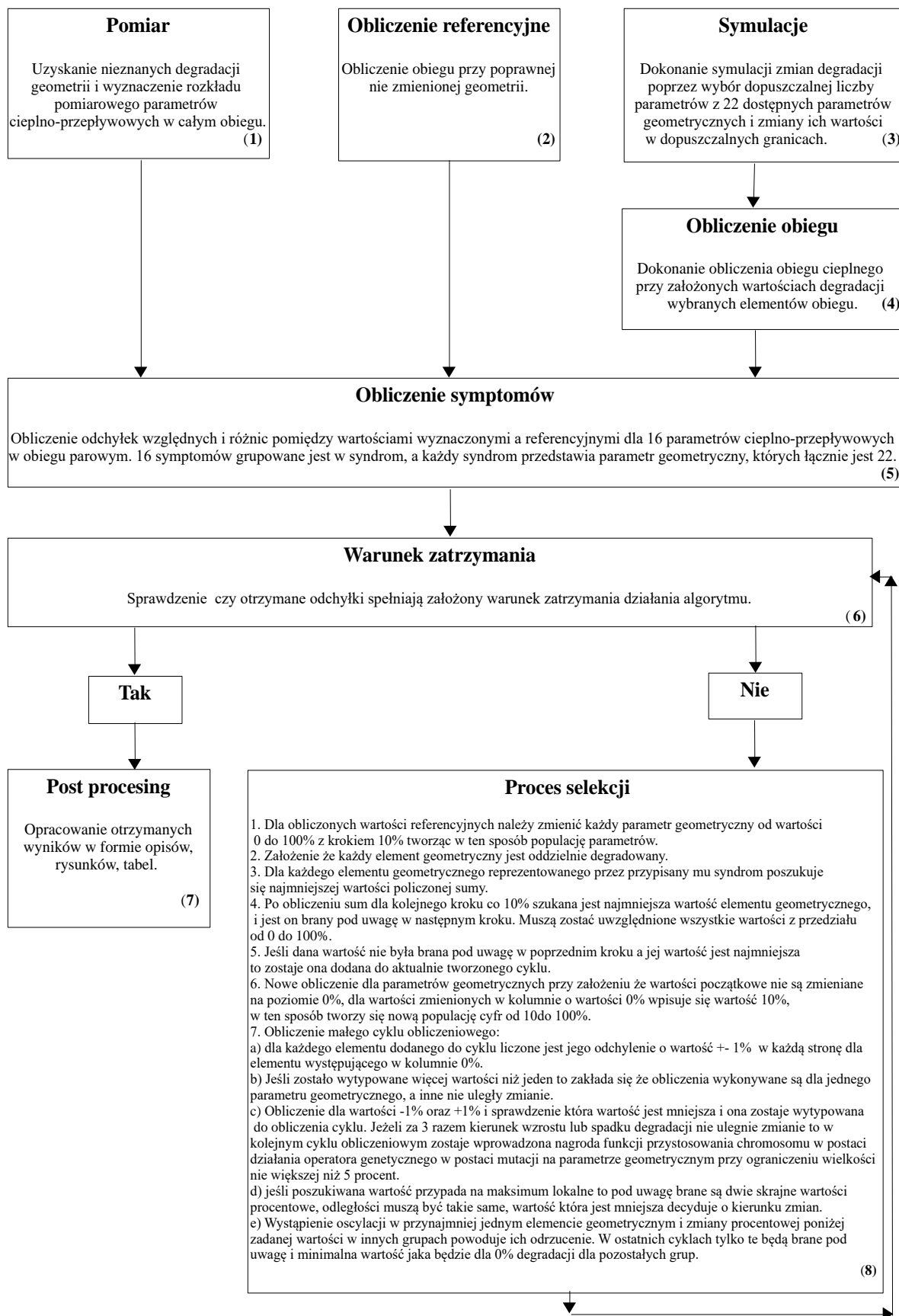
W przypadku stworzonego schematu obliczeniowego do pozyskiwania diagnozy dla turbin parowych głównym elementem selekcji jest porównanie dwóch odpowiednich syndromów, jest to syndrom reprezentujący degradację oraz syndrom poszukujący tą degradację. Rozwiązaniem takiego procesu występuje w momencie, kiedy po nałożeniu jednego symptomu na drugi, nakładają się one na siebie lub ich różnice mieszczą się w założonych granicach, przyjęto, że granica ta jest ustalona na wartość 4%. Stworzony proces selekcji został zaprezentowany w kolejnym podrozdziale a wcześniejsze próby stworzenia procedury selekcji umieszczono w załączniku 4.

Ostateczny proces przebiegu selekcji zostanie zaprezentowany w kolejnym podrozdziale, gdzie zostanie przedstawiona i omówiona finalna wersja modelu matematycznego pozwalająca na przeprowadzenie pełnego procesu diagnostycznego.

6.3 Ewolucja programu głównego w celu ujednoczenia pozyskiwanych degradacji.

W celu ujednoczenia poszukiwania degradacji został stworzony nowy schemat blokowy na podstawie którego udało się przygotować model do obliczeń degradacji wielokrotnych (rys. 16). W załączniku 5 przedstawiono różne typy syndromów w tym pojedynczych degradacji jak i wielokrotnych.

W trakcie tworzenia programu mającego za zadanie wyszukiwanie degradacji występujących w turbinach parowych, dokonywano różnych zmian podejść w celu uzyskania ostatecznej wersji modelu obliczeniowego. Zmiany wywołane były koniecznością ujednoczenia systemu znajdowania degradacji, a także przyspieszeniem procesu ich pozyskania.



Rys. 16 Schemat algorytmu pokazującego postępowanie w celu wyszukiwania degradacji wielokrotnych.

Model obliczeniowy został przedstawiony na schemacie zilustrowanym na rys. 16, gdzie w nawiasach kwadratowych wstawiono numer, który odpowiada numerowi etapu opisanego poniżej. Model ten został stworzony z wykorzystaniem elementów algorytmu genetycznego, występuje tutaj tak zwane odwrotne modelowanie. Działanie modelu obliczeniowego zostało podzielone na 8 etapów:

1. Inicjacja działania modelu obliczeniowego dokonuje się w momencie otrzymania pomiaru dla turbiny parowej. Pomiar ten służy jako dane wejściowe do procesu diagnostycznego badanego obiektu technicznego. W pracy tej wykorzystuje się pomiar rzeczywistych wartości, który następnie jest wykorzystywany jako dane bazowe do przeprowadzenia na nim działań symulacyjnych.
2. Obliczenie danych referencyjnych pozyskanych z poprzedniego punktu. Zakłada się, że obieg parowy działa przy niezdegradowanych parametrach i niezmienionej geometrii. Obliczenia te wykonuje się w programie DIAGAR.
3. Dokonanie obliczeń symulacyjnych polegającym na losowym wyborze liczby degradujących się parametrów, a następnym krokiem jest losowy wybór z puli 22 możliwych parametrów geometrycznych które mogą ulegać procesowi degradacji. Wyselekcjonowane parametry losowo zmieniają swoją wartość, przy założeniu, że wartość ta mieści się w dopuszczalnych granicach tego parametru geometrycznego. Granice te są tak wybrane, aby przy wystąpieniu pełnej degradacji tzn. osiąga wartość 100% turbina parowa mogła działać dalej bez wystąpienia błędu krytycznego.
4. Dokonanie obliczeń w programie DIAGAR dla zmienionych wartości wybranych na podstawie punktu 3.
5. Stworzenie dla wybranych 16 parametrów cieplno-przepływowych odchyłek względnych oraz różnicy występującej między wartościami wyznaczonymi a referencyjnymi, w ten sposób tworzy się 16 symptomów. Jeden symptom odpowiada jednemu wybranemu parametrowi cieplno-przepływowemu. W celu uproszczenia obliczeń symptomy grupowane są w 22-elementowe syndromy, który są charakterystyczne dla danego typu występującego uszkodzenia.
6. W tym kroku dochodzi do sprawdzenia czy otrzymany wynik jest poprawny jest to tak zwany warunek zatrzymania. Warunkiem zatrzymania działania modelu jest uzyskanie zbieżności między dwoma syndromami poszukiwania degradacji a także samej degradacji, zbieżność ta ma być mniejsza niż 4 %. Istnieje kolejny warunek zatrzymania działania algorytmu, kiedy to jego dalsza praca nie przynosi rezultatu poprawienia otrzymanego wyniku.
7. Punkt 7 uzyskuje się po otrzymaniu warunku zatrzymania algorytmu i uzyskania wyniku w takim przypadku dochodzi do opracowania otrzymanych wyników w formie opisu wyniku czy tabel na podstawie których tworzy się wykresy przedstawiające wynik. Jest to tak zwany postprocesing.
8. Jeśli nie jest możliwe uzyskanie wyniku i otrzymanie warunku zatrzymania należy przeprowadzić dodatkowe obliczenia w tym celu wykorzystuje się selekcję. Proces przeprowadzenia selekcji został podzielony na 7 punktów.
 - 8.1 Na samym początku dochodzi do zmiany obliczonych wartości referencyjnych od poziomu 0 do 100% z krokiem wynoszącym 10% i dokonania obliczeń w programie DIAGAR. Wartości referencyjne dotyczą wszystkich parametrów geometrycznych, w taki o to sposób dochodzi do stworzenia pierwszej nowej populacji danych geometrycznych biorących udział w procesie selekcji.
 - 8.2 Wprowadzenie założenia, że każdy element występujący w populacji parametrów geometrycznych jest poddawany oddzielnie procesowi degradacji.
 - 8.3 Zsumowanie wartości symptomów występujących w syndromie. Syndrom ten reprezentuje odpowiedni element parametru geometrycznego. Po dokonaniu obliczeń sumowania, należy z pośród obliczonych wartości wybrać tą która jest najmniejsza.
 - 8.4 Proces przedstawiony w poprzednim podpunkcie należy wykonać dla kolejnych kroków o wartości 10%, gdzie występuje założenie, że wszystkie wartości z rozważanego przedziału od 0 do 100% muszą zostać uwzględnione. Dla obliczonych sum z kolejnych kroków 10% należy wybrać tą która posiada najmniejszą wartość parametru geometrycznego.

- 8.5 Należy sprawdzić czy wszystkie najmniejsze wartości zostało uwzględnione w poprzednim kroku, jeśli jakieś nie zostały uwzględnione to w takim przypadku zostaje ona włączona do aktualnie tworzonego cyklu obliczeniowego.
- 8.6 Dokonanie nowych obliczeń dla kolejnych parametrów geometrycznych zawierających wyznaczone wartości dla cyklu obliczeniowego i degradowane aż do 100% z wyznaczonym krokiem 10%.
- 8.7 Dokonanie obliczeń pod cyklu wchodzącego w skład cyklu obliczeniowego dotyczącego procesu selekcji.
- a) Dokonanie obliczeń dla każdego nowo dodanego elementu do cyklu poprzez wyznaczenie wartości odchylenia wynoszącego 1% w każdą stronę (podniesienie wartości lub obniżenie) dokonuje się dla elementu znajdującego się w miejscu 0%.
 - b) Jeśli w trakcie obliczeń został wytypowane parametry geometryczne w liczbie większej niż jeden to do dalszej części obliczeń należy założyć, że wszystkie wykonywane obliczenia są dokonywane tylko dla jednego parametru geometrycznego, a pozostałe nie podlegają zmianie.
 - c) Przeprowadzenie obliczeń dla odchylenia $\pm 1\%$ wyznaczonego w podpunkcie a) i następnie przeprowadzenie weryfikacji pod kątem która wartość jest najmniejsza. Wartość najmniejsza zostaje wybrana do cyklu obliczeniowego. Jeżeli procedura ta za 3 razem nie wykaże kierunku wzrostu lub spadku wielkości degradacji to w kolejnym cyklu obliczeniowym to do procesu zostaje dołączona funkcja przystosowania chromosomu w postaci nagrody, która wprowadza działanie operatora genetycznego w postaci mutacji. Mutację przeprowadza się na parametrze geometrycznym przy jednoczesnym występującym ograniczeniu jego wielkości, która jest nie większej niż 5%.
 - d) W przypadku, kiedy poszukiwana wartość wypada w punkcie maksimum lokalnego, to rozważeniu podlegają dwie procentowe wartości skrajne, lecz odległości pomiędzy nimi do maksimum muszą być takie same. Najmniejsza wartość z pośród tych dwóch jest odpowiedzialne za przedstawienie kierunku zmian.
 - e) Jeżeli chociaż jeden parametr geometryczny zostaje poddany działaniu oscylacji oraz występują w nim zmiany procentowe na poziomie mniejszym niż zadana wartość to w innych grupach wielkość ta zostaje odrzucona. Dla ostatnich cykli obliczeniowych zostaną one wykorzystane i minimalna występująca wartość dla 0% degradacji będzie obowiązywała w pozostałych grupach.

7 Wybrane wyniki działania metody

W trakcie badań i tworzenia modelu obliczeniowego udało się uzyskać szansę na zdiagnozowanie turbin parowych przy użyciu elementów algorytmu genetycznego. W trakcie pracy napotkano różne przeszkody w wyniku których należało modyfikować model obliczeniowy. Skutkowało to kilkukrotnym próbom znalezienia rozwiązania pozwalającego na identyfikację degradacji wielokrotnych. Ostateczny model obliczeniowy został przedstawiony na rys. 16. W trakcie prac okazało się, że ze względu na błąd numeryczny nie można wykryć wszystkich syndromów, nie udało się uzyskać wyników dla chropowatości, związane jest to z ich bardzo. Małymi wartościami odchyłek, która w trakcie prac okazała się mieścić w błędzie numerycznym. Udało się uzyskać czterokrotne degradacje co z drugiej strony pokazuje skuteczność omawianej metody. Czas potrzebny na przeprowadzenie symulacji zależny był od ilości występujących w jednym momencie degradacji oraz ich wielkości.

Po przeprowadzeniu symulacji stwierdzono wystąpienie zależności elementu, na którym mogłoby dojść do degradacji; dotyczy to zarówno na pojedynczych jak i wielokrotnych degradacji. Niekiedy występuje taka relacja, że dodatkowy parametr geometryczny pojawia się w przypadku jednokrotnych degradacji a w wielokrotnych już nie, ponieważ występujące parametry tak na siebie oddziałują, że niwelują inne. Najczęściej pojawienie się dodatkowego parametru, który uległ degradacji występuje w przypadku, kiedy elementy geometryczne znajdują się w bliskiej odległości między sobą. Dzieje się tak między innymi wtedy, kiedy dotyczą jednego elementu składowego siłowni np. luz w uszczelnieniu skrzynki dyszowej zaworu regulacyjnego części wysokoprężnej oraz luzu w uszczelnieniu zewnętrznym kadłuba wysokoprężnego. Przykład zależności jakie udało się zauważyć zaprezentowano w tab. 9, często dodatkowe parametry związane są z samą budową turbiny np.: umieszczenie na jednym rurociągu blisko siebie kilku urządzeń, przecieki pary występujące na upustach, czy w przestrzeni między kadłubami (para w danej ilości dostarczana w jednym upuście zostaje dołączona do innego w ten sposób dochodzi do zaburzenia przepływu). Dodatkowo wskazania parametrów geometrycznych mogą pojawić się również ze względu na błąd numeryczny występujący w programie DIAGAR; w celu jego eliminacji należałoby poprawić zbieżność parametrów w tym programie. Ze względu na to, że badania przeprowadzone są w formie symulacji nie są rozważane błędy pomiarowe samych czujników zainstalowanych w elektrowni. To w przypadku obliczeń na danych rzeczywistych mogłoby zaburzać wielkości zmierzonych parametrów. Udało się zauważyć, że nadprogramowe wskazania krawędzi spływu najczęściej pojawiają się jako dodatkowy parametr geometryczny; dzieje się tak ze względu na małe zmiany wartości występujące dla tego parametru, gdzie nawet niewielka odchyłka już wskazuje, że mogło dojść do uszkodzenia. W przypadku, kiedy dodatkowy element występuje w jednokrotnych degradacjach zaobserwowano prawdopodobieństwo wystąpienia jego w degradacjach wielokrotnych.

Tab. 9 Zależności między parametrami występujące podczas procesu degradacji.

| Numer i nazwa degradującego się parametru geometrycznego. | Numer i nazwa parametru geometrycznego występującego dodatkowo w wyniku działania algorytmu obliczeniowego. | Dodatkowe uwagi. |
|---|---|--|
| 1 - Luz w uszczelnieniu skrzynki dyszowej zaworu regulacyjnego WP. | 2 - Luz w uszczelnieniu zewnętrznym kadłuba WP. | Występuje w jednokrotnych i wielokrotnych degradacjach. |
| 1 - Luz w uszczelnieniu skrzynki dyszowej zaworu regulacyjnego WP. 2 - Luz w uszczelnieniu zewnętrznym kadłuba WP. | 3 - Luz w uszczelnieniach 1 grupy stopni (GS) WP. | Wystąpienie dodatkowych parametrów zależne jest od wielkości degradacji dla tych parametrów są również przypadki, gdzie one nie występują. |
| 3 - Luz w uszczelnieniach 1 GS WP. | 5 - Krawędzie spływowe profili 1 GS WP. | |

| | | |
|--|---|---|
| 6- Luz w uszczelnieniach stopni 2 GS WP. | 5 - Krawędzie spływowe profili 1 GS WP. 8 - Krawędzie spływowe profili 2 GS WP. | Przy większych wartościach procentowych pojawiają się obie a np. dla 10% tylko 5. Jak degraduje się sam parametr 8 to nie pojawiają się dodatkowe. Przy degradacji wielokrotnej również są przypadki, gdzie pojawia się jeden z dodatkowych parametrów. |
| 9 - Luz w uszczelnieniu skrzynki dyszowej zaworu regulacyjnego SP. | 10 - Luz w uszczelnieniu zewnętrznym kadłuba SP. 14- Luz w uszczelnieniach stopni 4 GS SP. | Element nr 10 pojawia się przy degradacji jednokrotnej a numer 14 przy niektórych degradacji wielokrotnej. |
| 10 - Luz w uszczelnieniu zewnętrznym kadłuba SP. | 9 - Luz w uszczelnieniu skrzynki dyszowej zaworu regulacyjnego SP. | |
| 11 - Luz w uszczelnieniu zewnętrznym kadłuba SP. | 5 - Krawędzie spływowe profili 1 GS WP. 13 - Krawędzie spływowe profili 3 GS SP | Wartości dodatkowych uszkodzeń spowodowana są błędem numerycznym i wstąpiły przy jednym uszkodzeniu. |
| 14 - Luz w uszczelnieniach stopni 4 GS SP. | 9 - Luz w uszczelnieniu skrzynki dyszowej zaworu regulacyjnego SP. | Parametr wystąpił tylko dla małej wartości uszkodzenia. |
| 20 - Luz w uszczelnieniach 6 GS SP. | 22 - Krawędzie spływowe profili 6 GS SP. | |

Przy wystąpieniu bardzo małych zmian w geometrii można napotkać trudności w obliczeniach poprzez pojawienie się w wyniku dodatkowego parametru lub nietrafienia w wartość.

W celu zaprezentowania otrzymanych wyników dla różnych uszkodzeń, dla każdego z nich zostaną przedstawione trzy charakterystyki które będą dotyczyć:

1. Symulowana degradacja zaprezentowana przez syndrom;
2. Syndrom poszukujący degradację;
3. Przedstawienie na jednym wykresie syndromu symulowanej degradacji i syndromu poszukującego tej degradacji.

Do wykonania symulowanych charakterystyk użyto każdorazowo tego samego pliku stanowiącego wartość referencyjną, które umieszczone są w każdej tabelce z obliczonymi odchyłkami uszkodzeń, gdzie jednostkowe zużycie ciepła wyrażone jest w jednostce kJ/kWh, temperatura w °C, a ciśnienie w barach. Program do obliczeń symulacyjnych odtwarza dokładnie schemat obiegu i jest dostrojony do pomiarów w jednej z polskich elektrowni. W tym sensie wyniki symulacji odpowiadają rzeczywistej pracy elektrowniowych siłowni turbinowych.

Wyniki zostaną przedstawione oddzielnie dla pojedynczych, podwójnych, potrójnych oraz poczwórnych degradacji w kolejnych podrozdziałach za pomocą syndromów przedstawionych na odpowiednich rysunkach.

W trakcie obliczeń istniała obawa, że może dochodzić do przerwania działania numerycznego modelu ze względu na możliwość oddziaływania zasymulowanych zmian parametrów geometrycznych w programie DIAGAR w taki sposób, gdy przekraczałyby one zadany zakres obliczeniowy. Skutkiem tego byłoby zastopowanie procesu diagnostycznego.

7.1 Wyniki działania procedury dla pojedynczych degradacji

Proces pozyskiwania degradacji jednokrotnych był relatywnie najprostszy, ponieważ model miał za zadanie odszukać tylko jedną wartość a następnie zbliżyć się jak najbardziej do poszukiwanej wielkości degradacji. Również czasowo przebiegał on najkrócej w porównaniu z degradacjami wielokrotnymi przedstawionymi w następnych podrozdziałach udawało się je uzyskać mniej więcej

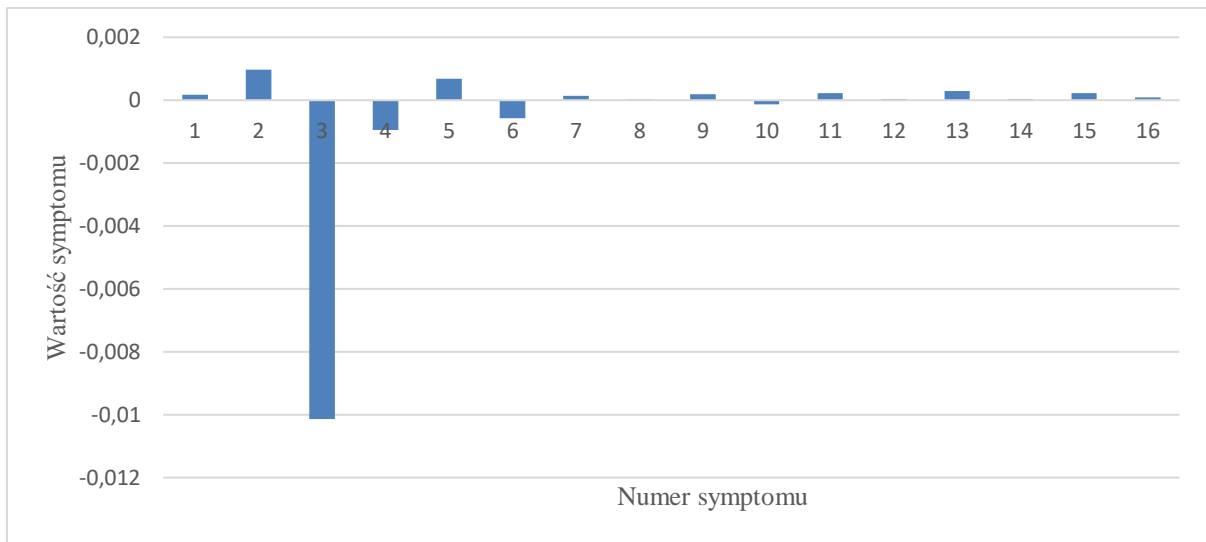


w czasie od 1,5 do 8 h, a czas był zależny od procentowej zmiany degradacji oraz sprzętu komputerowego na którym liczone. W tym miejscu pracy zostaną przedstawione cztery przykładowe wyniki rozpoznawania degradacji turbiny poprzez prezentację uzyskanych wyników w formie tabel, a także wykresów. Otrzymane wyniki posłużyły do stworzenia zależności występujących między parametrami degradującymi się, które to zostały wykorzystane w analizie otrzymanych wyników dla degradacji wielokrotnych i zależności te prezentuje zamieszczona wcześniej tab. 9.

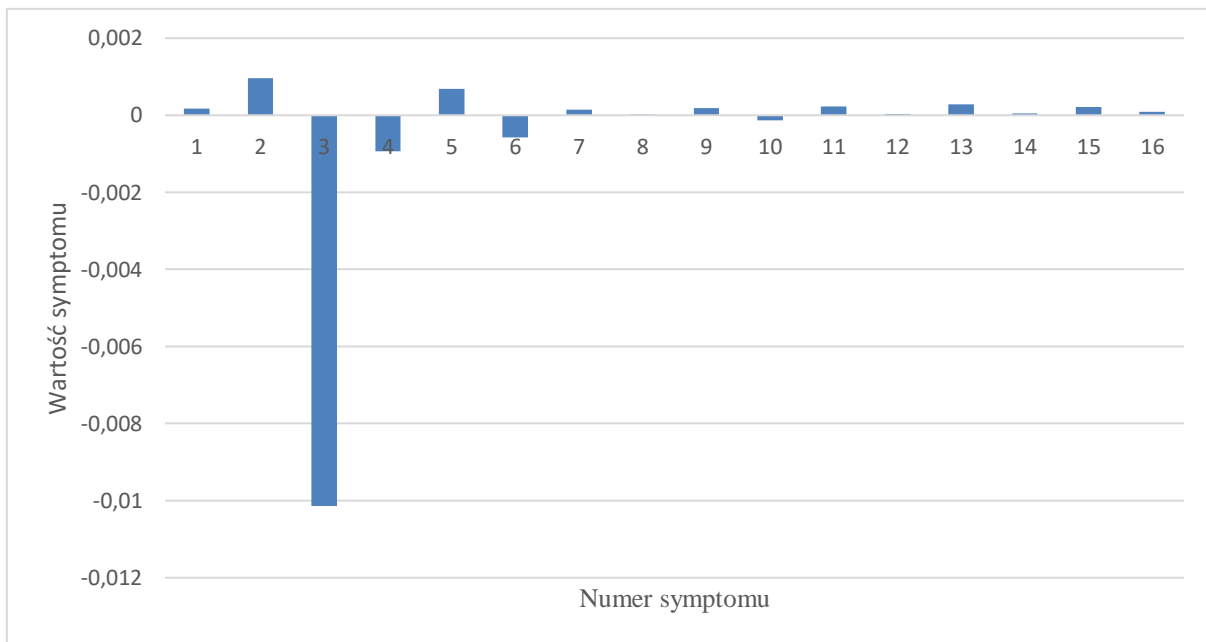
Pierwszy przykład został policzony dla krawędzi spływowych profili 2 GS WP, gdzie wartość zmiany (degradacji) została zasymulowana na 8%. W wyniku przeprowadzonych obliczeń udało się rozpoznać to uszkodzenie i otrzymano wynik 8% otrzymane wartości przedstawia tab. 10, i na ich podstawie zostały stworzone wykresy prezentujące odchyłki symulacji rys. 17, poszukiwania degradacji rys. 18. Dokonano również porównania obu charakterystyk rys. 19. Porównanie charakterystyk pokazało, że oba syndromy są takie same co odpowiada otrzymanemu wynikowi w postaci symulacji 8% uszkodzenia i uzyskaniu takiej samej wartości dla poszukiwania degradacji.

Tab. 10 Wyniki dla pojedynczej degradacji 8% krawędzi spływu profili 2 GS WP.

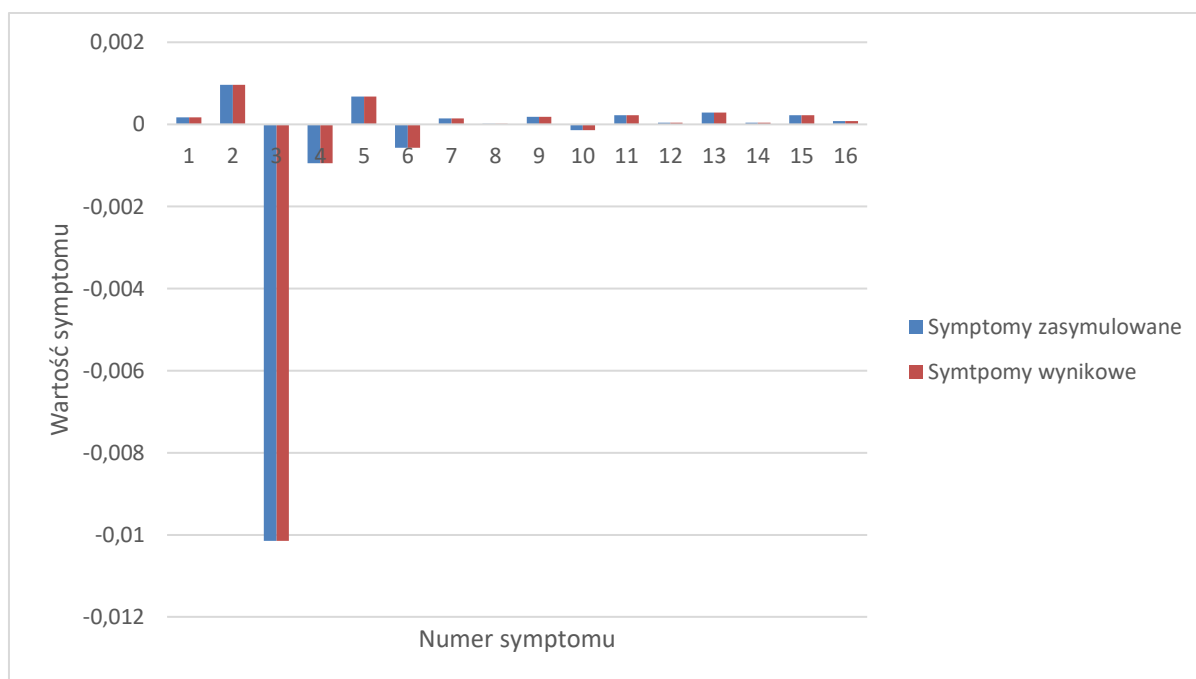
| | Numer symptomu | Wartości referencyjne | Wyniki symulacji dla degradacji | Odchyłka symulacji | Wyniki otrzymane dla poszukiwania degradacji. | Odchyłka poszukiwana degradacji |
|----------------------------|----------------|-----------------------|---------------------------------|--------------------|---|---------------------------------|
| Jednostkowe zużycie ciepła | 1 | 8536,41766 | 8537,84914 | 0,00017 | 8537,84914 | 0,00017 |
| Moc generatora | 2 | 217066,2144 | 217275,71210 | 0,00096 | 217275,71210 | 0,00096 |
| Ciśnienie w upuście 1 | 3 | 41,73193 | 41,31287 | -0,01014 | 41,31287 | -0,01014 |
| Temperatura w upuście 1 | 4 | 397,72850 | 397,35475 | -0,00094 | 397,35475 | -0,00094 |
| Ciśnienie w upuście 2 | 5 | 26,93320 | 26,95155 | 0,00068 | 26,95155 | 0,00068 |
| Temperatura w upuście 2 | 6 | 326,36579 | 326,18014 | -0,00057 | 326,18014 | -0,00057 |
| Ciśnienie w upuście 3 | 7 | 12,33945 | 12,34122 | 0,00014 | 12,34122 | 0,00014 |
| Temperatura w upuście 3 | 8 | 456,18797 | 456,18901 | 0,00000 | 456,18901 | 0,00000 |
| Ciśnienie w upuście 4 | 9 | 5,33691 | 5,33791 | 0,00019 | 5,33791 | 0,00019 |
| Temperatura w upuście 4 | 10 | 423,72003 | 423,66166 | -0,00014 | 423,66166 | -0,00014 |
| Ciśnienie w upuście 5 | 11 | 2,87339 | 2,87403 | 0,00022 | 2,87403 | 0,00022 |
| Temperatura w upuście 5 | 12 | 274,96113 | 274,97125 | 0,00004 | 274,97125 | 0,00004 |
| Ciśnienie w upuście 6 | 13 | 1,33355 | 1,33393 | 0,00028 | 1,33393 | 0,00028 |
| Temperatura w upuście 6 | 14 | 264,54695 | 264,55861 | 0,00004 | 264,55861 | 0,00004 |
| Ciśnienie w upuście 7 | 15 | 0,18069 | 0,18073 | 0,00022 | 0,18073 | 0,00022 |
| Temperatura w upuście 7 | 16 | 57,90795 | 57,91282 | 0,00008 | 57,91282 | 0,00008 |



Rys. 17 Syndrom dla symulowanej degradacji parametru geometrycznego (krawędzie spływowe profili 2 GS WP) o wartości 8%.



Rys. 18 Syndrom wynikowy poszukiwania symulowanej degradacji parametru geometrycznego (krawędzie spływowe profili 2 GS WP).



Rys. 19 Porównanie otrzymanych charakterystyk degradacji symulowanej oraz poszukiwania jej dla krawędzi spływowych profilu 2 GS WP.

Wynikiem diagnozy jest detekcja, lokalizacja i identyfikacja zdegradowanych lub uszkodzonych urządzeń składowych. Powyżej zamieszczone rys. 17 - rys. 19 pokazują syndromy: pierwotny dla założonej degradacji, ostateczny wynikający z działania procedury diagnostycznej i w końcu porównanie tych dwóch na jednym wykresie. One są bazą dla procedur diagnostycznych. Minimalne różnice między tymi syndromami sygnalizują wstępnie na dobrą jakość diagnozy. Natomiast lokalizacja i identyfikacja degradacji są wskazywane jedynie w podpisach pod rysunkami. To pokazuje pewne trudności z przystępną prezentacją uzyskanego wyniku. Dla lepszej demonstracji przygotowano tab. 11 zamieszczoną poniżej. Uwidoczniono na niej liczbowe wyróżniki potencjalnych przyczyn degradacji, czyli liczb opisujących parametry geometryczne stopni podlegające potencjalnie degradacji wg. opisu z tab. 7. Te wyróżniki posłużyły do zbudowania w tabeli siatki do prezentacji przyczyn degradacji. Na siatce tabeli pokazano zadane miejsce i rozmiar degradacji, zdiagnozowane miejsce i rozmiar degradacji. Ich dobra zgodność (w tym przypadku bezbłędna) wskazuje jednoznacznie na znalezienie lokalizacji i identyfikacji. Lokalizacja jest tu pokazywana przez umiejscowienie znacznika lokalizacji „X” na siatce przyczyn degradacji. Identyfikacja degradacji jest opisywana przez procentową wartość zadanego lub znalezionej degradacji parametru geometrycznego turbiny. Ta procentowa wartość opisuje udział degradacji w stosunku do maksymalnej możliwej degradacji parametru. Zaanonsowane powyżej uwagi odnoszą się również do wszystkich następujących ilustracji funkcjonowania zbudowanej metody diagnostyki ciepłno-przepływowej.

Tworzona procedura diagnostyczna pozwoliła w analizowanym przypadku na poprawne zdiagnozowanie i lokalizacji i identyfikacji degradacji. Należy tu zwrócić uwagę na poprawną lokalizację degradacji. Ten wynik jest szczególnie ważny dla operatorów bloków energetycznych. Pokazuje on bowiem, że wskazany zdegradowany parametr geometryczny turbiny wymaga zaplanowania jego naprawienia i w miarę możliwości powrotu do projektowej wartości w czasie najbliższej akcji serwisowej lub remontowej. Przy tym planowaniu precyzyjna znajomość wartości degradacji, choć ważna, ma mniejsze znaczenie.

Tab. 11 Lokalizacja i identyfikacja przyczyn degradacji dla przypadku pierwszego.

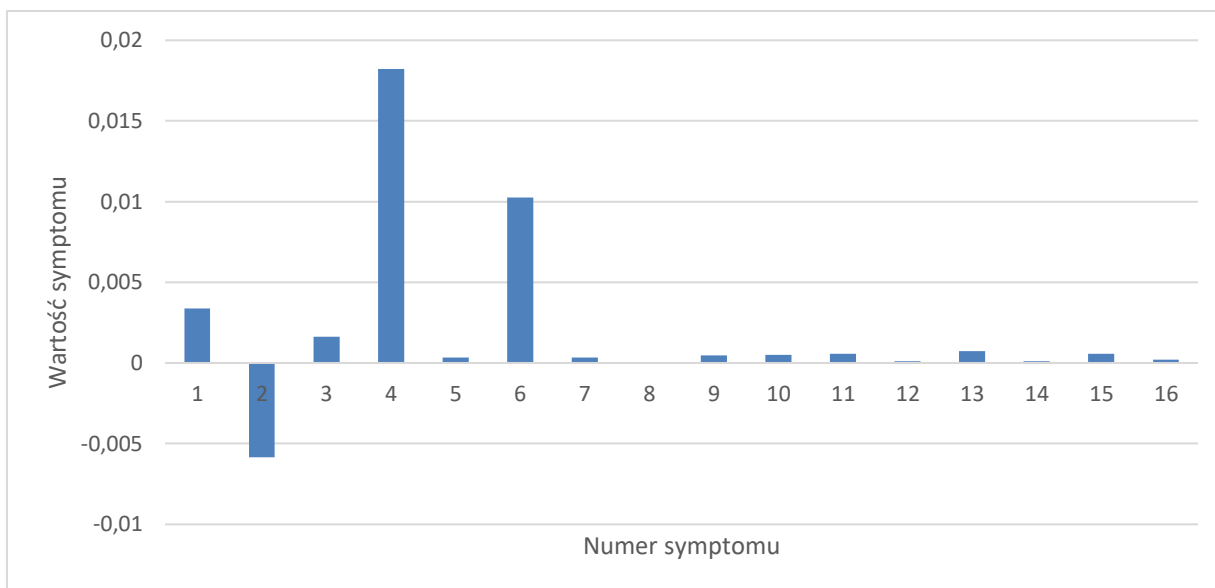
| Wyróżniki potencjalnych przyczyn degradacji | | | 01 | 02 | 03 | 04 | 05 | 06 | 07 | 08 | 09 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | | |
|---|----------|-------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|--|---------------|
| pojedyncze | zadane | znac. lokalizacji | | | | | | | | X | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | degradacja proc. | | | | | | | | 8 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | diagnoza | znac. lokalizacji | | | | | | | | X | | | | | | | | | | | | | | | | lokalizacja |
| | | degradacja proc. | | | | | | | | 8 | | | | | | | | | | | | | | | | identyfikacja |

Kolejny przykład został policzony dla luzu występującego w uszczelnieniach 1 GS WP. Symulacji dokonano na poziomie 10% uszkodzenia, a otrzymany wynik wskazał 9% degradację na symulowanym elemencie, ale także 8% degradację krawędzi spływu profili 1 GS WP. Wyniki obliczeń (tab. 12) pokazują, że występują pewne korelacje pomiędzy parametrami geometrycznymi, zostały one przedstawione we wcześniejszym miejscu w pracy w tab. 9. Otrzymane charakterystyki przedstawiają rys. 20- rys. 22 i pokazują one, że największe różnice w wartościach odchyłek występują dla czwartego symptomu co spowodowane jest pojawieniem się dodatkowej wartości uszkodzenia. Otrzymany wynik jest zadawalający, ponieważ udało się zidentyfikować w turbinie małe wartości uszkodzenia.

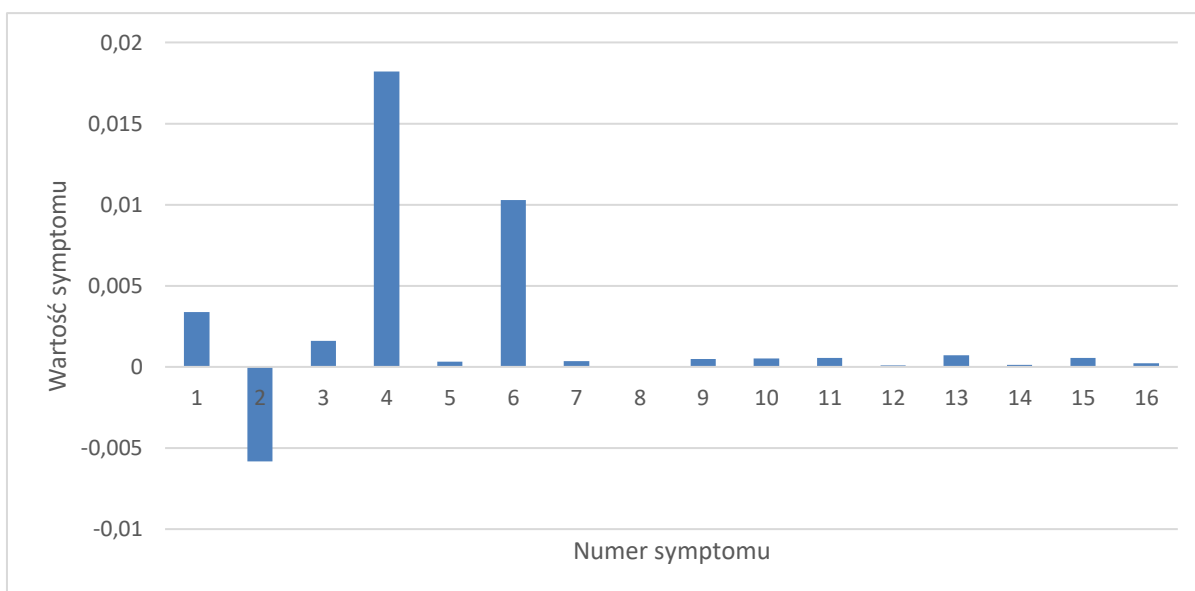
Tab. 12 Wyniki dla pojedynczej degradacji 10% luzu występującego w uszczelnieniach 1 GS WP.

| | Numer symptomu | Wartości referencyjne | Wyniki symulacji dla degradacji | Odchyłka symulacji | Wyniki otrzymane dla poszukiwania degradacji. | Odchyłka poszukiwania degradacji |
|----------------------------|----------------|-----------------------|---------------------------------|--------------------|---|----------------------------------|
| Jednostkowe zużycie ciepła | 1 | 8536,41766 | 8565,21185 | 0,00336 | 8565,22821 | 0,00336 |
| Moc generatora | 2 | 217066,2144 | 215804,33530 | -0,00585 | 215807,19370 | -0,00583 |
| Ciśnienie w upuście 1 | 3 | 41,73193 | 41,80078 | 0,00165 | 41,79943 | 0,00161 |
| Temperatura w upuście 1 | 4 | 397,72850 | 405,70754 | 0,01967 | 405,10651 | 0,01821 |
| Ciśnienie w upuście 2 | 5 | 26,93320 | 26,94274 | 0,00035 | 26,94208 | 0,00033 |
| Temperatura w upuście 2 | 6 | 326,36579 | 329,77913 | 0,01035 | 329,75153 | 0,01027 |
| Ciśnienie w upuście 3 | 7 | 12,33945 | 12,34395 | 0,00036 | 12,34364 | 0,00034 |
| Temperatura w upuście 3 | 8 | 456,18797 | 456,18781 | 0,00000 | 456,18801 | 0,00000 |
| Ciśnienie w upuście 4 | 9 | 5,33691 | 5,33965 | 0,00051 | 5,33946 | 0,00048 |
| Temperatura w upuście 4 | 10 | 423,72003 | 423,93461 | 0,00051 | 423,93715 | 0,00051 |
| Ciśnienie w upuście 5 | 11 | 2,87339 | 2,87512 | 0,00060 | 2,87500 | 0,00056 |
| Temperatura w upuście 5 | 12 | 274,96113 | 274,98867 | 0,00010 | 274,98691 | 0,00009 |
| Ciśnienie w upuście 6 | 13 | 1,33355 | 1,33458 | 0,00077 | 1,33451 | 0,00072 |
| Temperatura w upuście 6 | 14 | 264,54695 | 264,57888 | 0,00012 | 264,57682 | 0,00011 |

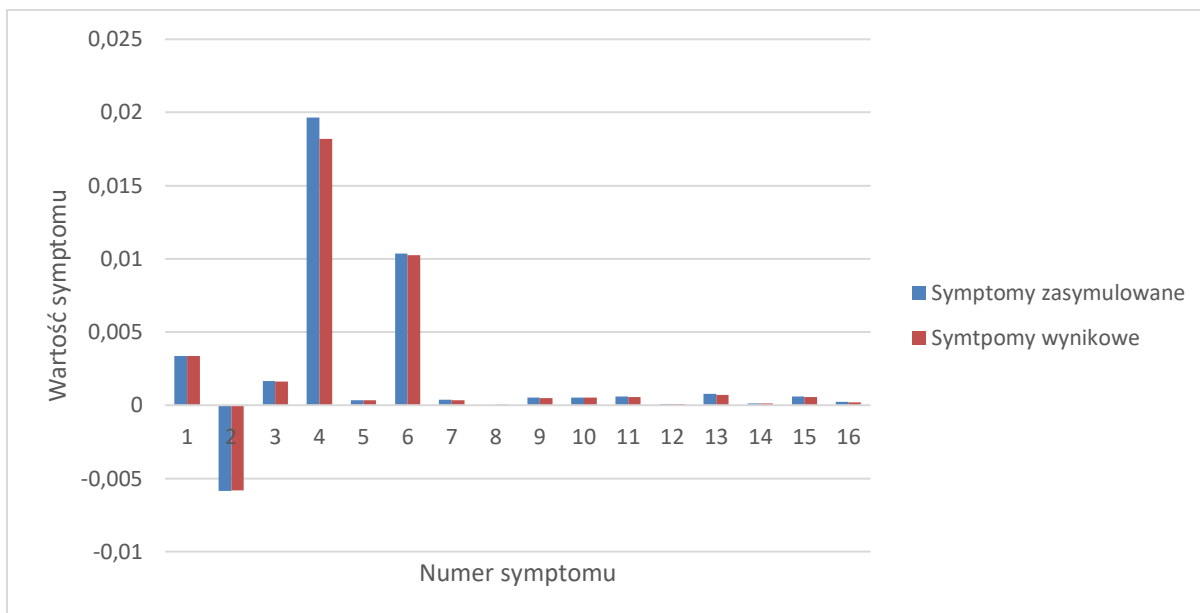
| | | | | | | |
|-------------------------|----|----------|----------|---------|----------|---------|
| Ciśnienie w upuście 7 | 15 | 0,18069 | 0,18080 | 0,00061 | 0,18079 | 0,00055 |
| Temperatura w upuście 7 | 16 | 57,90795 | 57,92112 | 0,00023 | 57,92019 | 0,00021 |



Rys. 20 Syndrom dla symulowanej degradacji parametru geometrycznego luzu w uszczelnieniach 1 GS WP o wartości 10%.



Rys. 21 Syndrom dla poszukiwania symulowanej degradacji parametru geometrycznego (9% luz w uszczelnieniach 1 GS WP, 8% krawędzie spływu profilu 1 GS WP).



Rys. 22 Porównanie otrzymanych charakterystyk degradacji oraz poszukiwania jej dla luzu w uszczelnieniach 1 GS WP.

Uwagi odnoszące się do sposobów prezentacji zamieszczone za rys. 19 (str. 40) dotyczą również toku postępowania diagnostycznego w tym kolejnym przypadku. W tab. 13 zamieszczonej poniżej zademonstrowano lokalizację i identyfikację jako wyniki diagnozy w omawianym przypadku zgodnie z przywołanymi powyżej uwagami. Podobnie jak poprzednio lokalizację opisuje znacznik lokalizacji „X” na siatce przyczyn degradacji, zaś identyfikację degradacji opisuje procentowa wartość zadanego lub znalezionej rozmiaru degradacji parametru geometrycznego turbiny.

Tworzona procedura diagnostyczna pozwoliła w również i w tym analizowanym przypadku na prawie poprawne zdiagnozowanie i lokalizacji i identyfikacji pojedynczej degradacji. Należy tu zwrócić uwagę na znalezienie lokalizacji degradacji dla zadanego parametru, ale jednocześnie wskazanie innego. Jak było to powiedziane poprzednio, wynik poprawnej lokalizacji i tu gra ważną rolę dla eksploatatorów bloków energetycznych przy planowaniu wspomnianych już poprzednio akcji serwisowych lub remontowych. Co prawda w tym przypadku pojawiło się dodatkowe niezaistniałe wskazanie, ale mimo to przy planowaniu remontu eksploatatorzy są w stanie przygotować się do poprawnego wykonania tej operacji. Identyfikacja relatywnie poprawna ma w tym przypadku mniejsze znaczenie dla czynności planowania.

Tab. 13 Lokalizacja i identyfikacja przyczyn degradacji dla przypadku drugiego pojedynczej degradacji.

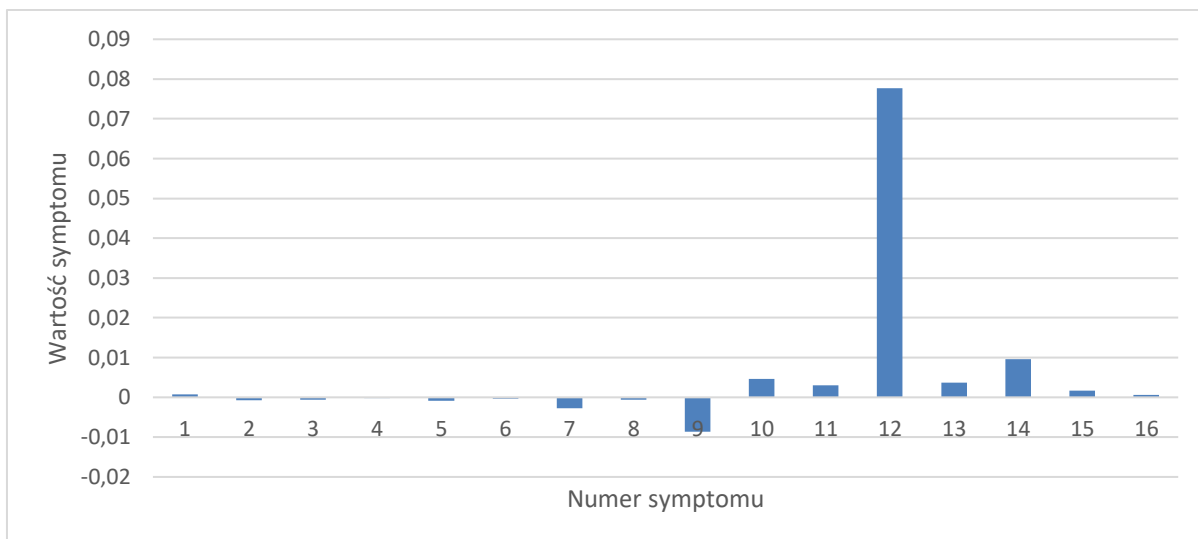
| Wyróżniki potencjalnych przyczyn degradacji | | | 01 | 02 | 03 | 04 | 05 | 06 | 07 | 08 | 09 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | | |
|---|----------|----------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|--|-------------|
| pojedyncze | zadane | znacznik lokalizacji | | | X | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | degradacja proc. | | | 10 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | diagnoza | znacznik lokalizacji | | | X | X | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | lokalizacja |
| | | degradacja proc. | | | 9 | 8 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Kolejny przykład został policzony dla luzu występującego w uszczelnieniach 5 GS SP. W celu zasymulowania uszkodzenia wybrano wartość 87% i taki sam wynik został uzyskany, co wskazuje, że udało się uzyskać 100% proces diagnostyczny wynika z tego, że w przypadku tych uszczelnień nie

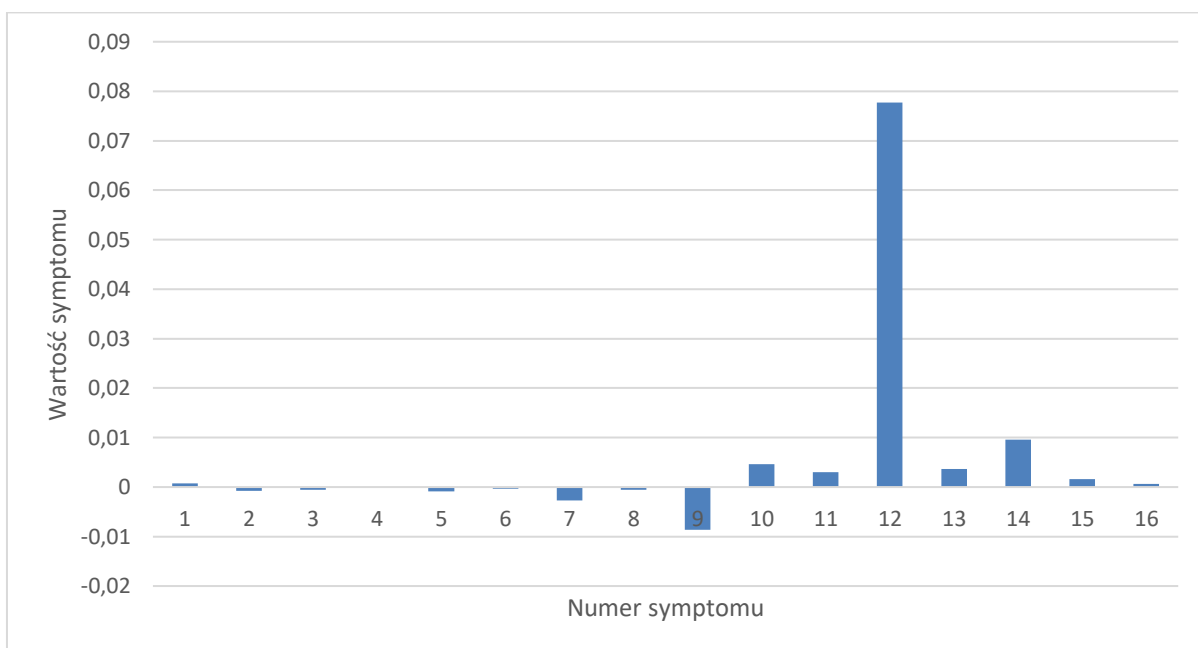
występują inne korelacje z parametrami sprawdzono to dokonując symulacji uszkodzenia na inną wartość procentową. Wartości otrzymane podczas obliczeń przedstawia tab. 14, a charakterystyki stworzone na jej podstawie prezentują wyniki rys. 23 - rys. 25.

Tab. 14 Wyniki dla pojedynczej degradacji 87% luzu występującego w uszczelnieniach 5 GS SP.

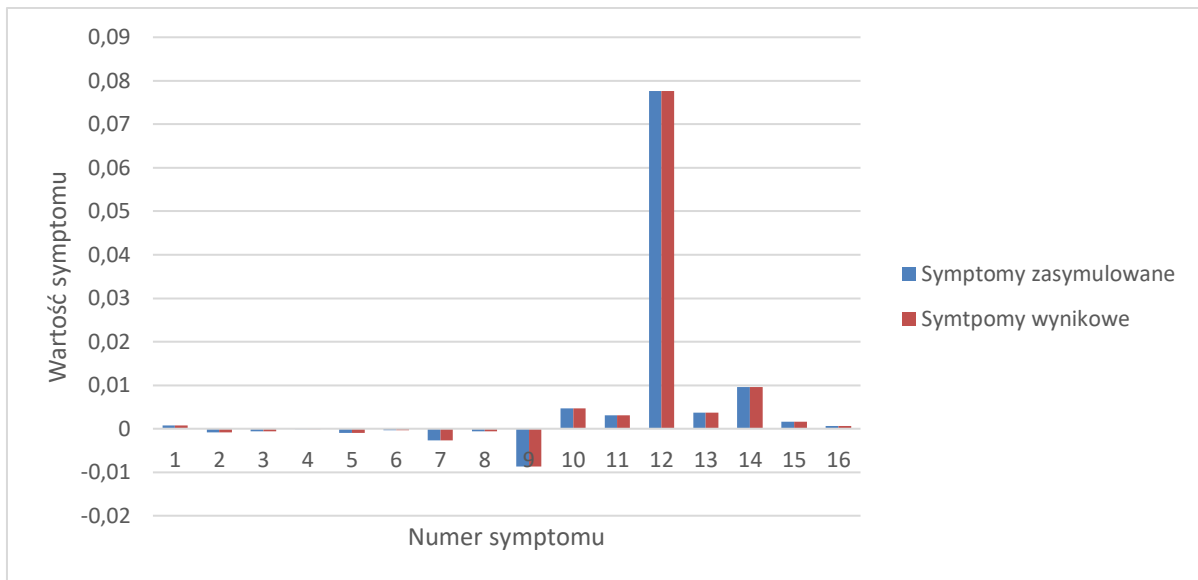
| | Numer symptomu | Wartości referencyjne | Wyniki symulacji dla degradacji | Odchyłka symulacji | Wyniki otrzymane dla poszukiwania degradacji. | Odchyłka poszukiwania degradacji |
|----------------------------|----------------|-----------------------|---------------------------------|--------------------|---|----------------------------------|
| Jednostkowe zużycie ciepła | 1 | 8536,41766 | 8542,78508 | 0,00075 | 8542,78508 | 0,00075 |
| Moc generatora | 2 | 217066,2144 | 216895,58540 | -0,00079 | 216895,58540 | -0,00079 |
| Ciśnienie w upuście 1 | 3 | 41,73193 | 41,70842 | -0,00056 | 41,70842 | -0,00056 |
| Temperatura w upuście 1 | 4 | 397,72850 | 397,67805 | -0,00013 | 397,67805 | -0,00013 |
| Ciśnienie w upuście 2 | 5 | 26,93320 | 26,90872 | -0,00091 | 26,90872 | -0,00091 |
| Temperatura w upuście 2 | 6 | 326,36579 | 326,26186 | -0,00032 | 326,26186 | -0,00032 |
| Ciśnienie w upuście 3 | 7 | 12,33945 | 12,30629 | -0,00269 | 12,30629 | -0,00269 |
| Temperatura w upuście 3 | 8 | 456,18797 | 455,93584 | -0,00055 | 455,93584 | -0,00055 |
| Ciśnienie w upuście 4 | 9 | 5,33691 | 5,29121 | -0,00864 | 5,29121 | -0,00864 |
| Temperatura w upuście 4 | 10 | 423,72003 | 425,69722 | 0,00464 | 425,69722 | 0,00464 |
| Ciśnienie w upuście 5 | 11 | 2,87339 | 2,88212 | 0,00303 | 2,88212 | 0,00303 |
| Temperatura w upuście 5 | 12 | 274,96113 | 298,11170 | 0,07766 | 298,11170 | 0,07766 |
| Ciśnienie w upuście 6 | 13 | 1,33355 | 1,33842 | 0,00364 | 1,33842 | 0,00364 |
| Temperatura w upuście 6 | 14 | 264,54695 | 267,10372 | 0,00957 | 267,10372 | 0,00957 |
| Ciśnienie w upuście 7 | 15 | 0,18069 | 0,18099 | 0,00166 | 0,18099 | 0,00166 |
| Temperatura w upuście 7 | 16 | 57,90795 | 57,94354 | 0,00061 | 57,94354 | 0,00061 |



Rys. 23 Syndrom dla symulowanej degradacji parametru geometrycznego (luz w uszczelnieniach 5 GS SP) o wartości 87%.



Rys. 24 Syndrom dla poszukiwania symulowanej degradacji parametru geometrycznego (luz w uszczelnieniach 5 GS WP).



Rys. 25 Porównanie otrzymanych charakterystyk degradacji oraz poszukiwania jej dla luzu w uszczelnieniach 5 GS SP.

Uwagi odnoszące się do sposobów prezentacji zamieszczone za rys. 19 (str. 40) dotyczą również toku postępowania diagnostycznego w tym kolejnym przypadku. W tab. 15 zamieszczonej poniżej zademonstrowano lokalizację i identyfikację jako wyniki diagnozy w omawianym przypadku zgodnie z przywołanymi powyżej uwagami. Podobnie jak w poprzednio Lokalizację opisuje znacznik lokalizacji „X” na siatce przyczyn degradacji, zaś identyfikację degradacji opisuje procentowa wartość zadanego lub znalezionej rozmiar degradacji parametru geometrycznego turbiny.

Tworzona procedura diagnostyczna pozwoliła w również i w tym analizowanym przypadku na poprawne zdiagnozowanie i lokalizacji i identyfikacji pojedynczej degradacji. Należy tu zwrócić uwagę na poprawną lokalizację degradacji. Wynik poprawnej lokalizacji i tu gra ważną rolę dla eksploatorów bloków energetycznych przy planowaniu wspomnianych już poprzednio akcji serwisowych lub remontowych.

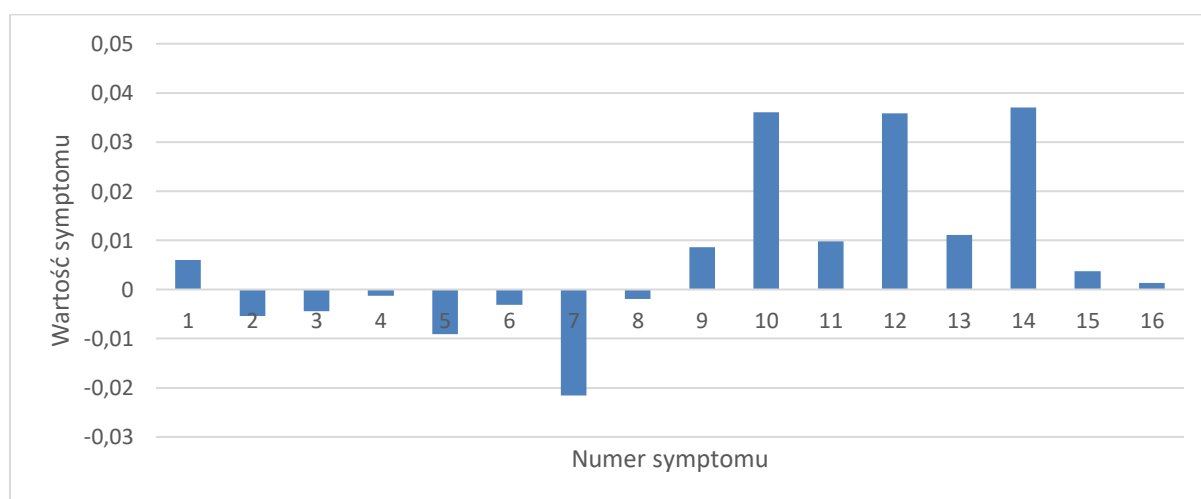
Tab. 15 Lokalizacja i identyfikacja przyczyn degradacji dla przypadku trzeciego pojedynczej degradacji.

| Wyróżniki potencjalnych przyczyn degradacji | | | 01 | 02 | 03 | 04 | 05 | 06 | 07 | 08 | 09 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | | | |
|---|----------|----------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|--|--|---------------|
| pojedyncze | zadane | znacznik lokalizacji | | | | | | | | | | | | | | | | | | X | | | | | | | |
| | | degradacja proc. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 87 | | | | | | |
| | diagnoza | znacznik lokalizacji | | | | | | | | | | | | | | | | | | | X | | | | | | Lokalizacja |
| | | degradacja proc. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 87 | | | | | Identyfikacja |

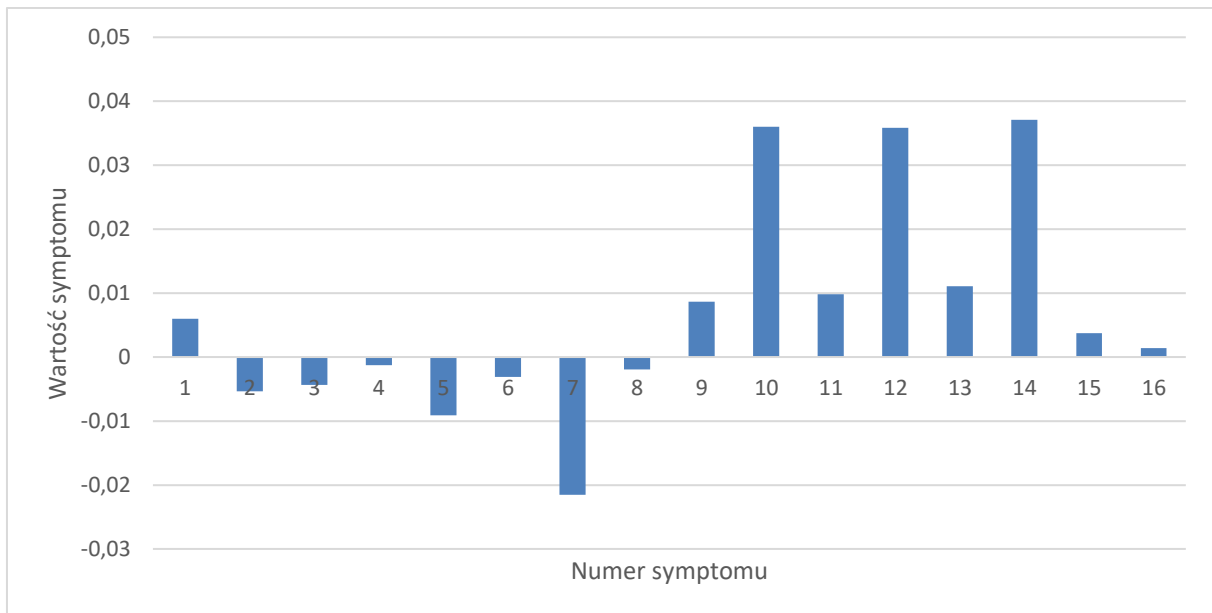
Ostatni przykład prezentowanej degradacji pojedynczej dotyczy luzu w uszczelnieniach 4 GS SP. Proces degradacji symulowano na zmianę wartości parametru wynoszącego 87%, a poszukiwanie tej degradacji przyniosło bardzo dobry rezultat, ponieważ udało się dokładnie trafić w ten parametr jak i jego wartość co wiąże się z przeprowadzeniem 3 etapowego procesu diagnostycznego. Wartości parametrów jakie udało się uzyskać i następnie wykorzystać je do obliczenia symptomów przedstawia tab. 16 na podstawie, której stworzono charakterystyki prezentowane na rys. 26 - rys. 28.

Tab. 16 Wyniki dla pojedynczej degradacji 87% luzu występującego w uszczelnieniach 4 GS SP.

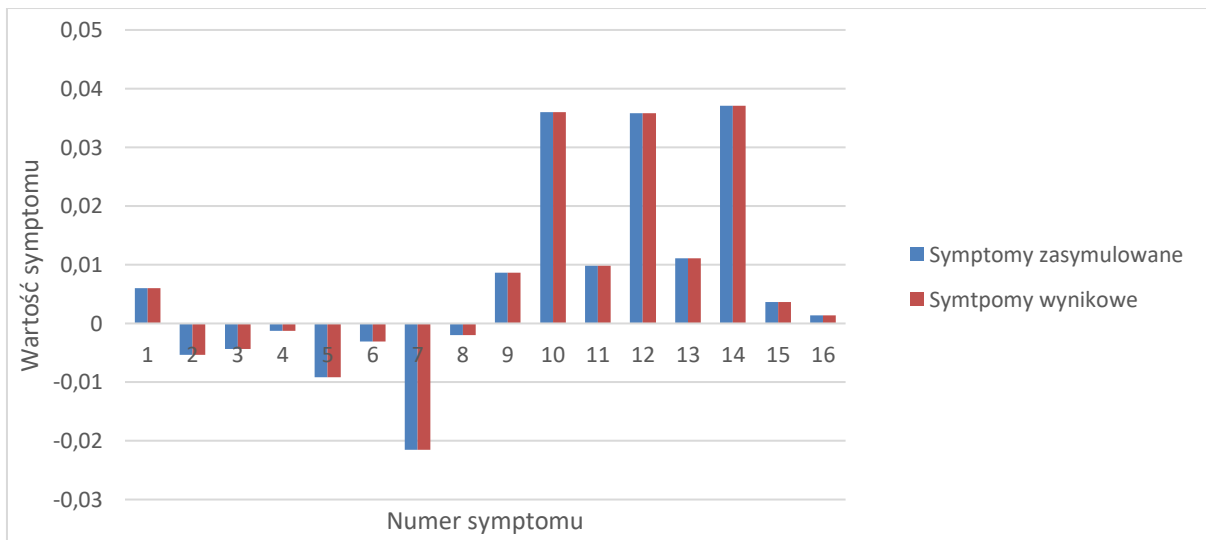
| | Numer symptomu | Wartości referencyjne | Wyniki symulacji dla degradacji | Odchyłka symulacji | Wyniki otrzymane dla poszukiwania degradacji. | Odchyłka poszukiwania degradacji |
|----------------------------|----------------|-----------------------|---------------------------------|--------------------|---|----------------------------------|
| Jednostkowe zużycie ciepła | 1 | 8536,41766 | 8587,98142 | 0,00600 | 8587,98142 | 0,00600 |
| Moc generatora | 2 | 217066,2144 | 215909,1894 | -0,00536 | 215909,18940 | -0,00536 |
| Ciśnienie w upuście 1 | 3 | 41,73193 | 41,54996 | -0,00438 | 41,54996 | -0,00438 |
| Temperatura w upuście 1 | 4 | 397,72850 | 397,21941 | -0,00128 | 397,21941 | -0,00128 |
| Ciśnienie w upuście 2 | 5 | 26,93320 | 26,68980 | -0,00912 | 26,68980 | -0,00912 |
| Temperatura w upuście 2 | 6 | 326,36579 | 325,35180 | -0,00312 | 325,35180 | -0,00312 |
| Ciśnienie w upuście 3 | 7 | 12,33945 | 12,07914 | -0,02155 | 12,07914 | -0,02155 |
| Temperatura w upuście 3 | 8 | 456,18797 | 455,29510 | -0,00196 | 455,29510 | -0,00196 |
| Ciśnienie w upuście 4 | 9 | 5,33691 | 5,38349 | 0,00865 | 5,38349 | 0,00865 |
| Temperatura w upuście 4 | 10 | 423,72003 | 439,54853 | 0,03601 | 439,54853 | 0,03601 |
| Ciśnienie w upuście 5 | 11 | 2,87339 | 2,90193 | 0,00983 | 2,90193 | 0,00983 |
| Temperatura w upuście 5 | 12 | 274,96113 | 285,18615 | 0,03585 | 285,18615 | 0,03585 |
| Ciśnienie w upuście 6 | 13 | 1,33355 | 1,34847 | 0,01106 | 1,34847 | 0,01106 |
| Temperatura w upuście 6 | 14 | 264,54695 | 274,73328 | 0,03708 | 274,73328 | 0,03708 |
| Ciśnienie w upuście 7 | 15 | 0,18069 | 0,18136 | 0,00369 | 0,18136 | 0,00369 |
| Temperatura w upuście 7 | 16 | 57,90795 | 57,98680 | 0,00136 | 57,98680 | 0,00136 |



Rys. 26 Syndrom dla symulowanej degradacji parametru geometrycznego luzu w uszczelnieniach 4 GS SP o wartości 87%.



Rys. 27 Syndrom dla poszukiwania symulowanej degradacji parametru geometrycznego luzu w uszczelnieniach 4 GS SP.



Rys. 28 Porównanie otrzymanych charakterystyk degradacji oraz poszukiwania jej dla luzu w uszczelnieniach 4 GS WP.

Uwagi odnoszące się do sposobów prezentacji zamieszczone za rys. 19 (str. 40) dotyczą również toku postępowania diagnostycznego w tym kolejnym przypadku. W tab. 17 zamieszczonej poniżej zademonstrowano lokalizację i identyfikację jako wyniki diagnozy w omawianym przypadku zgodnie z przywołanymi powyżej uwagami. Podobnie jak w poprzednio Lokalizację opisuje znacznik lokalizacji „X” na siatce przyczyn degradacji, zaś identyfikację degradacji opisuje procentowa wartość zadanego lub znalezionej rozmiaru degradacji parametru geometrycznego turbiny.

Tworzona procedura diagnostyczna pozwoliła w również i w tym analizowanym przypadku na poprawne zdiagnozowanie i lokalizacji i identyfikacji pojedynczej degradacji. Należy tu zwrócić uwagę na poprawną lokalizację degradacji. Wynik poprawnej lokalizacji i tu gra ważną rolę dla eksploatatorów bloków energetycznych przy planowaniu wspomnianych już poprzednio akcji serwisowych lub remontowych.

Tab. 17 Lokalizacja i identyfikacja przyczyn degradacji dla przypadku czwartej pojedynczej degradacji.

| Wyróżniki potencjalnych przyczyn degradacji | | | 01 | 02 | 03 | 04 | 05 | 06 | 07 | 08 | 09 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | | |
|---|----------|-------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|--|---------------|
| pojedyncze | zadane | znac. lokalizacji | | | | | | | | | | | | | | X | | | | | | | | | | |
| | | degradacja proc. | | | | | | | | | | | | | | | 87 | | | | | | | | | |
| | diagnoza | znac. lokalizacji | | | | | | | | | | | | | | | X | | | | | | | | | lokalizacja |
| | | degradacja proc. | | | | | | | | | | | | | | | | 87 | | | | | | | | identyfikacja |

7.2 Wyniki działania procedury dla podwójnej degradacji

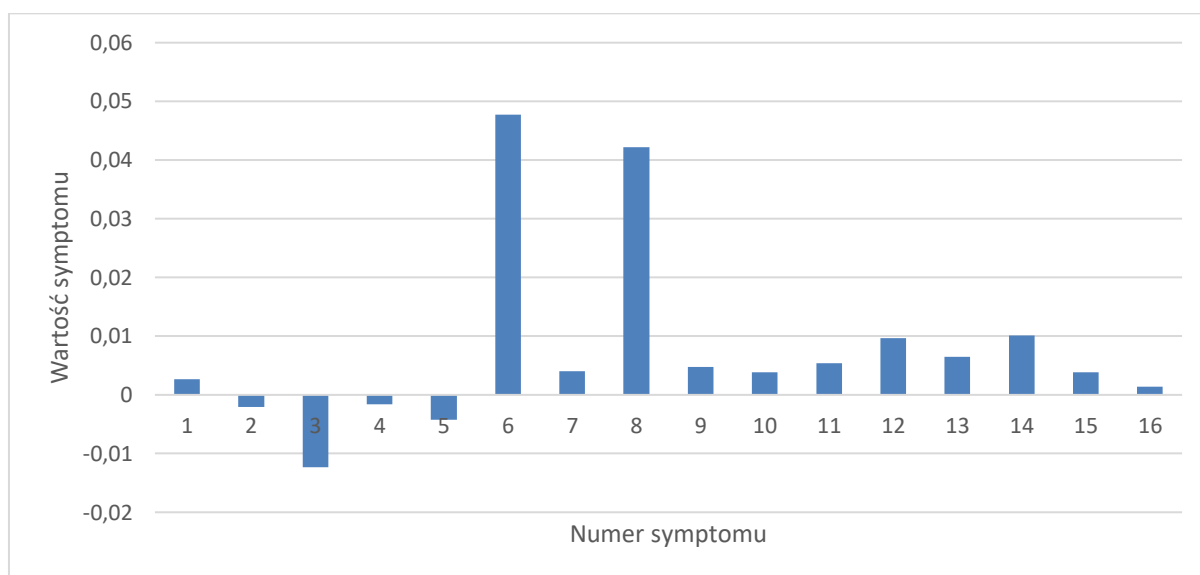
Degradacje podwójne należą do degradacji wielokrotnych i pośród nich są one najłatwiejsze do pozyskania i wymagają mniejszego czasu obliczeniowego niż trzy lub czterokrotne. Podczas przeprowadzania obliczeń dla degradacji dwukrotnych pojawiły się pewne zależności w występowaniu dodatkowych degradujących się parametrów wynikało to z charakterystyki składowych degradacji.

Przykład pierwszej zasymulowanej podwójnej degradacji składał się z luzu w uszczelnieniach 2 GS WP oraz luzu w uszczelnieniach 3 GS SP, a wartości potrzebne do wyznaczenie syndromu zawarte są w tab. 18. Wartość degradacji dla luzu w występującego w części wysokoprężnej wynosi 23% a dla części średnioprężnej 18% a syndrom je opisujący przedstawia rys. 29. Udało się uzyskać prawie idealne wyniki dla poszukiwania tej degradacji wartość 18% została osiągnięta, lecz dla części WP była wyższa o 1% czyli uzyskano 24% wartości uszkodzenia co pokazuje rys. 30 oraz rys. 31.

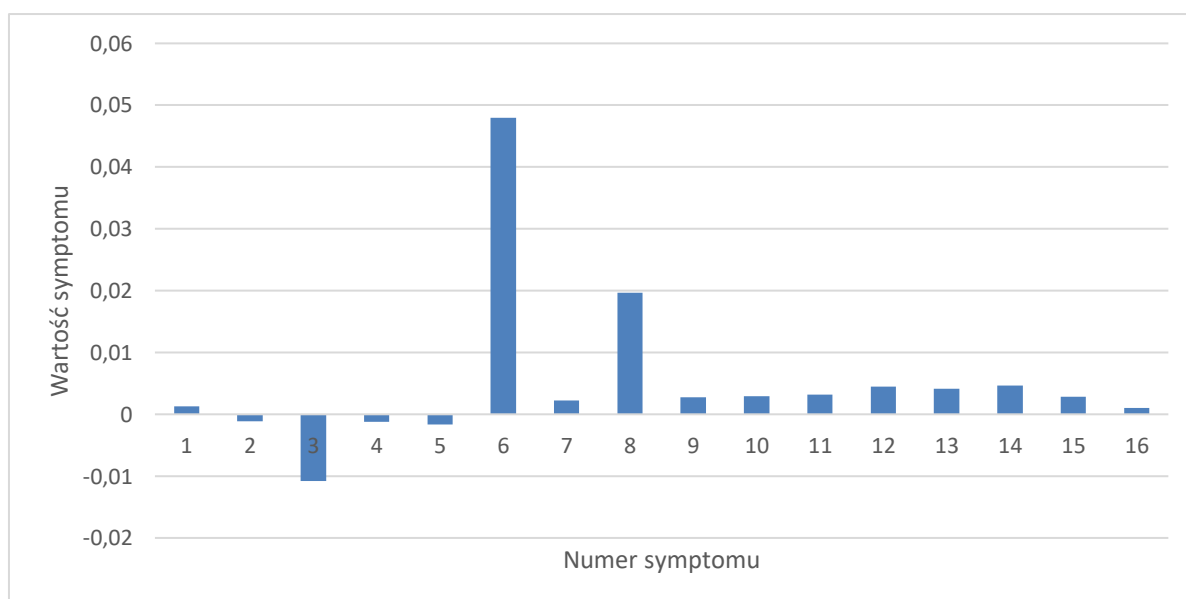
Tab. 18 Wyniki dla podwójnej degradacji składającej się z degradacji na poziomie 23 % dla luzu w uszczelnieniach 2 GS WP oraz 18% dla luzu w uszczelnieniach 3 GS SP.

| | Numer symptomu | Wartości referencyjne | Wyniki symulacji dla degradacji | Odchyłka symulacji | Wyniki otrzymane dla poszukiwania degradacji. | Odchyłka poszukiwania degradacji |
|----------------------------|----------------|-----------------------|---------------------------------|--------------------|---|----------------------------------|
| Jednostkowe zużycie ciepła | 1 | 8536,41766 | 8559,58016 | 0,00271 | 8547,21980 | 0,00126 |
| Moc generatora | 2 | 217066,2144 | 216620,59360 | -0,00206 | 216812,71040 | -0,00117 |
| Ciśnienie w upuście 1 | 3 | 41,73193 | 41,22272 | -0,01235 | 41,28695 | -0,01078 |
| Temperatura w upuście 1 | 4 | 397,72850 | 397,07823 | -0,00164 | 397,24689 | -0,00121 |
| Ciśnienie w upuście 2 | 5 | 26,93320 | 26,81887 | -0,00426 | 26,88996 | -0,00161 |
| Temperatura w upuście 2 | 6 | 326,36579 | 342,71448 | 0,04770 | 342,82020 | 0,04800 |
| Ciśnienie w upuście 3 | 7 | 12,33945 | 12,38918 | 0,00401 | 12,36746 | 0,00226 |
| Temperatura w upuście 3 | 8 | 456,18797 | 476,26115 | 0,04215 | 465,34610 | 0,01968 |
| Ciśnienie w upuście 4 | 9 | 5,33691 | 5,36221 | 0,00472 | 5,35143 | 0,00271 |
| Temperatura w upuście 4 | 10 | 423,72003 | 425,33986 | 0,00381 | 424,96003 | 0,00292 |

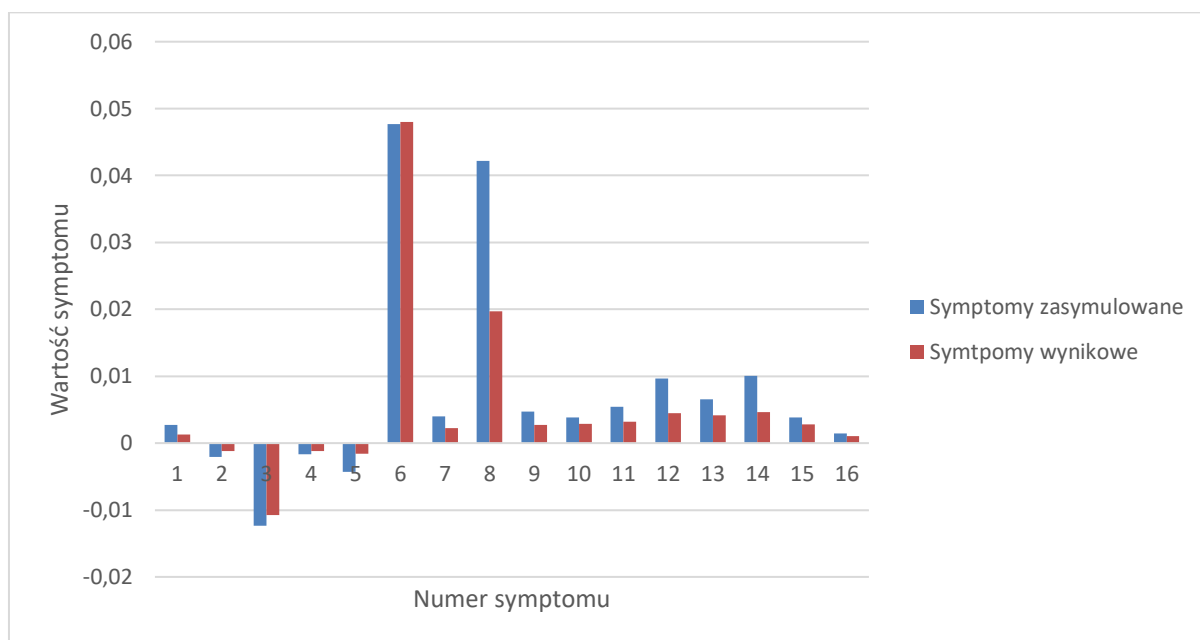
| | | | | | | |
|-------------------------|----|-----------|-----------|---------|-----------|---------|
| Ciśnienie w upuście 5 | 11 | 2,87339 | 2,88907 | 0,00543 | 2,88269 | 0,00323 |
| Temperatura w upuście 5 | 12 | 274,96113 | 277,63495 | 0,00963 | 276,20242 | 0,00449 |
| Ciśnienie w upuście 6 | 13 | 1,33355 | 1,34229 | 0,00651 | 1,33911 | 0,00415 |
| Temperatura w upuście 6 | 14 | 264,54695 | 267,24044 | 0,01008 | 265,78428 | 0,00466 |
| Ciśnienie w upuście 7 | 15 | 0,18069 | 0,18139 | 0,00386 | 0,18120 | 0,00281 |
| Temperatura w upuście 7 | 16 | 57,90795 | 57,99093 | 0,00143 | 57,96792 | 0,00103 |



Rys. 29 Syndrom dla symulowanej dwukrotnej degradacji dla wartości 23 % luzu w uszczelnieniach 2 GS WP oraz 18% dla luzu w uszczelnieniach 3 GS SP.



Rys. 30 Syndrom dla poszukiwania dwukrotnej degradacji (24% luzu w uszczelnieniach 2 GS WP, 18% luzu w uszczelnieniach 3 GS SP).



Rys. 31 Porównanie otrzymanych charakterystyk degradacji oraz poszukiwania jej dla luzu w uszczelnieniach 2 GS WP oraz luzu w uszczelnieniach 3 GS SP.

Uwagi odnoszące się do sposobów prezentacji zamieszczone za rys. 19 (str. 40) dotyczą również toku postępowania diagnostycznego w tym kolejnym przypadku. W tab. 19 zamieszczonej poniżej zademonstrowano lokalizację i identyfikację jako wyniki diagnozy w omawianym przypadku zgodnie z przywołanymi powyżej uwagami. Podobnie jak w poprzednio Lokalizację opisuje znacznik lokalizacji „X” na siatce przyczyn degradacji, zaś identyfikację degradacji opisuje procentowa wartość zadanego lub znalezionej rozmiaru degradacji parametru geometrycznego turbiny.

Tworzona procedura diagnostyczna pozwoliła w również i w tym analizowanym przypadku na poprawne zdiagnozowanie i lokalizacji i identyfikacji podwójnej degradacji. Należy tu zwrócić uwagę na poprawną lokalizację degradacji. Wynik poprawnej lokalizacji i tu gra ważną rolę dla eksploatorów bloków energetycznych przy planowaniu wspomnianych już poprzednio akcji serwisowych lub remontowych.

Tab. 19 Lokalizacja i identyfikacja przyczyn degradacji dla przypadku pierwszego podwójnej degradacji.

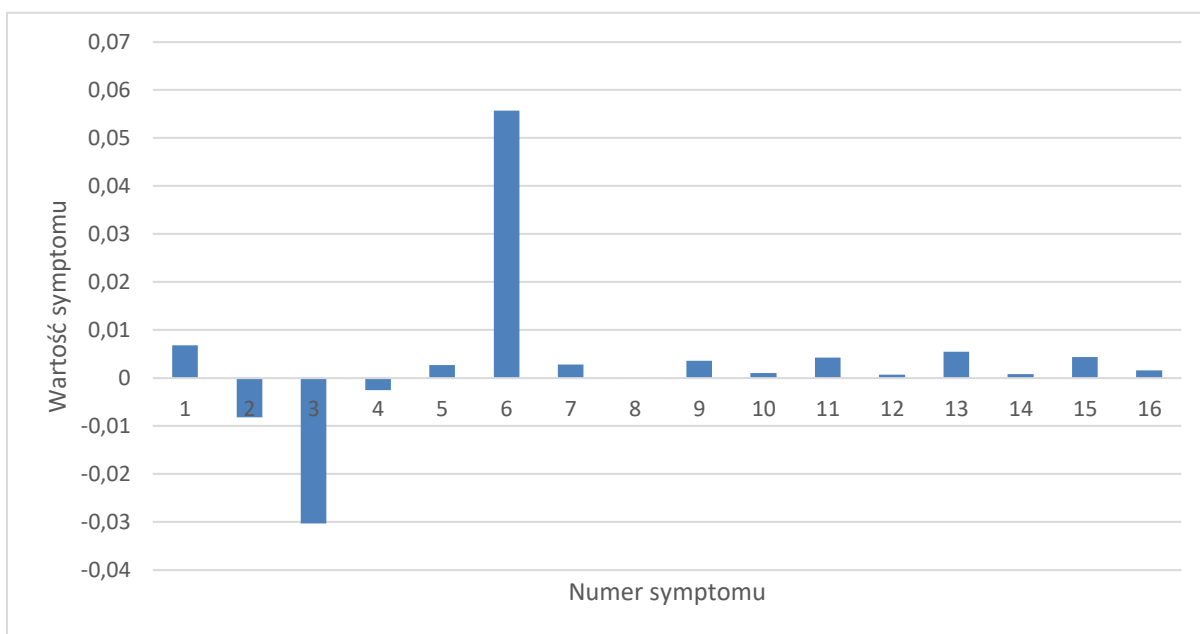
| Wyróżniki potencjalnych przyczyn degradacji | | | 01 | 02 | 03 | 04 | 05 | 06 | 07 | 08 | 09 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | | | |
|---|----------|----------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|--|--|---------------|
| pojedyncze | zadane | znacznik lokalizacji | | | | | | X | | | | | X | | | | | | | | | | | | | | |
| | | degradacja proc. | | | | | | 23 | | | | | 18 | | | | | | | | | | | | | | |
| | diagnoza | znacznik lokalizacji | | | | | | X | | | | | X | | | | | | | | | | | | | | lokalizacja |
| | | degradacja proc. | | | | | | 24 | | | | | 18 | | | | | | | | | | | | | | identyfikacja |

Kolejny przykład podwójnej degradacji dotyczy krawędzi spływowych profili 1 GS WP oraz luzu w uszczelnieniach 2 GS WP i odpowiednio zostały zmienione o 14% i 66% (rys. 32) a wartości te zostały wyznaczone na podstawie tab. 20. Wynikiem działania algorytmu w celu poszukiwania degradacji było wykrycie trzech możliwych degradujących się części turbiny parowej.

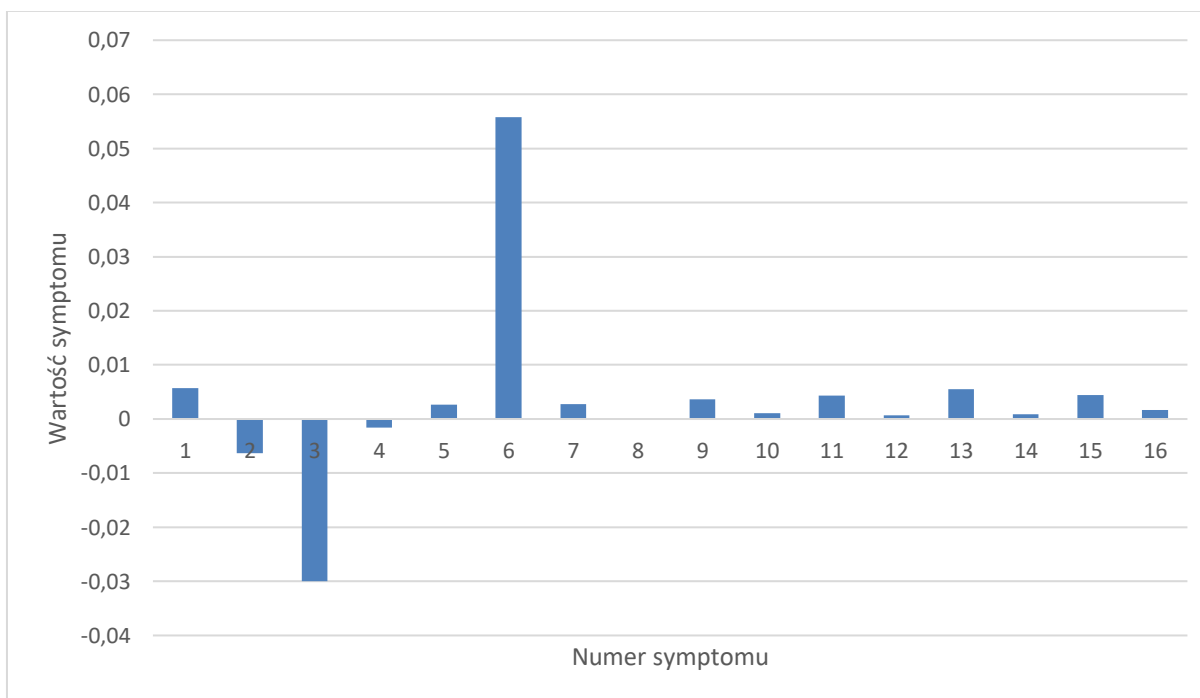
dwa z nich były zasymulowane dla krawędzi spływowych profili 1 GS WP otrzymano wartość 14% czyli taka jak była zadana oraz również uzyskano zadaną wartość 66% dla luzu w uszczelnieniach. Dodatkowo oprócz zadanych parametrów geometrycznych pojawiły się dodatkowe krawędzie spływowe profili występujące na kolejnej grupie stopni, czyli 2 GS WP i wartość ich wyniosła 28%, syndrom ten przedstawia rys. 33 a porównanie obu syndromów pokazuje rys. 34.

Tab. 20 Wyniki dla podwójnej degradacji składającej się z degradacji na poziomie 14 % krawędzi spływowych profili 1 GS WP oraz 66 % dla luzu w uszczelnieniach 2 GS WP.

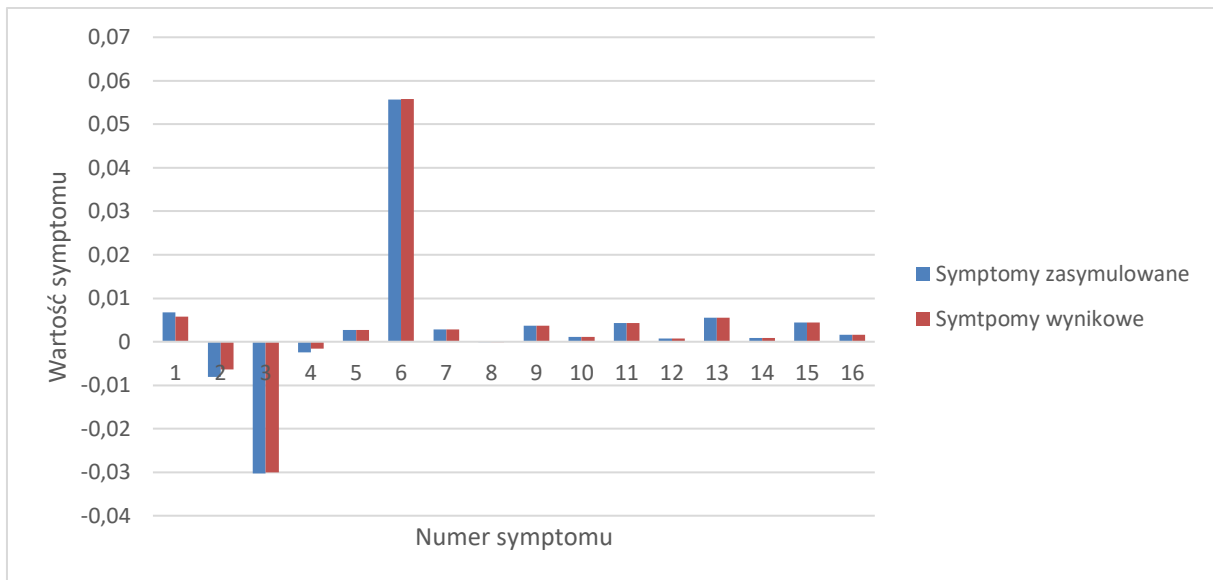
| | Numer symptomu | Wartości referencyjne | Wyniki symulacji dla degradacji | Odchyłka symulacji | Wyniki otrzymane dla poszukiwania degradacji. | Odchyłka poszukiwania degradacji |
|----------------------------|----------------|-----------------------|---------------------------------|--------------------|---|----------------------------------|
| Jednostkowe zużycie ciepła | 1 | 8536,41766 | 8594,88704 | 0,00680 | 8585,79360 | 0,00575 |
| Moc generatora | 2 | 217066,2144 | 215316,39740 | -0,00813 | 215701,03590 | -0,00633 |
| Ciśnienie w upuście 1 | 3 | 41,73193 | 40,50751 | -0,03023 | 40,51653 | -0,03000 |
| Temperatura w upuście 1 | 4 | 397,72850 | 396,73752 | -0,00250 | 397,08895 | -0,00161 |
| Ciśnienie w upuście 2 | 5 | 26,93320 | 27,00552 | 0,00268 | 27,00550 | 0,00268 |
| Temperatura w upuście 2 | 6 | 326,36579 | 345,63035 | 0,05574 | 345,64852 | 0,05579 |
| Ciśnienie w upuście 3 | 7 | 12,33945 | 12,37403 | 0,00279 | 12,37400 | 0,00279 |
| Temperatura w upuście 3 | 8 | 456,18797 | 456,18735 | 0,00000 | 456,18717 | 0,00000 |
| Ciśnienie w upuście 4 | 9 | 5,33691 | 5,35654 | 0,00366 | 5,35654 | 0,00366 |
| Temperatura w upuście 4 | 10 | 423,72003 | 424,17917 | 0,00108 | 424,18375 | 0,00109 |
| Ciśnienie w upuście 5 | 11 | 2,87339 | 2,88584 | 0,00431 | 2,88584 | 0,00431 |
| Temperatura w upuście 5 | 12 | 274,96113 | 275,16129 | 0,00073 | 275,16105 | 0,00073 |
| Ciśnienie w upuście 6 | 13 | 1,33355 | 1,34094 | 0,00551 | 1,34094 | 0,00551 |
| Temperatura w upuście 6 | 14 | 264,54695 | 264,77890 | 0,00088 | 264,77862 | 0,00087 |
| Ciśnienie w upuście 7 | 15 | 0,18069 | 0,18149 | 0,00441 | 0,18149 | 0,00441 |
| Temperatura w upuście 7 | 16 | 57,90795 | 58,00201 | 0,00162 | 58,00204 | 0,00162 |



Rys. 32 Syndrom dla symulowanej dwukrotnej degradacji dla wartości 14% krawędzi spływowych profili 1 GS WP oraz 66% dla luzu w uszczelnieniach 2 GS WP.



Rys. 33 Syndrom dla poszukiwania dwukrotnej degradacji (14% krawędzie spływowe profili 1 GS WP, 66% luzu w uszczelnieniu 2 GS WP, 28% krawędzie spływowe profili 2 GS WP).



Rys. 34 Porównanie otrzymanych charakterystyk degradacji oraz poszukiwania wartości 14% krawędzi spływowych profilu 1 GS WP oraz 66% dla luzu w uszczelnieniach 2 GS WP.

Uwagi odnoszące się do sposobów prezentacji zamieszczone za rys. 19 (str. 40) dotyczą również toku postępowania diagnostycznego w tym kolejnym przypadku. W tab. 28 zamieszczonej poniżej zademonstrowano lokalizację i identyfikację jako wyniki diagnozy w omawianym przypadku zgodnie z przywołanymi powyżej uwagami. Podobnie jak w poprzednio Lokalizację opisuje znacznik lokalizacji „X” na siatce przyczyn degradacji, zaś identyfikację degradacji opisuje procentowa wartość zadanego lub znalezionej rozmiaru degradacji parametru geometrycznego turbiny.

Tworzona procedura diagnostyczna pozwoliła w również i w tym analizowanym przypadku na prawie poprawne zdiagnozowanie i lokalizacji i identyfikacji podwójnej degradacji. Należy tu zwrócić uwagę, podobnie jak w jednym z poprzednio komentowanych przypadków, na znalezienie lokalizacji degradacji dla zadanych parametrów, ale jednocześnie wskazanie innego. Jak było to powiedziane poprzednio, wynik poprawnej lokalizacji i tu gra ważną rolę dla eksploatatorów bloków energetycznych przy planowaniu wspomnianych już poprzednio akcji serwisowych lub remontowych. Co prawda pojawiło się dodatkowe niezastniałe wskazanie, ale mimo to przy planowaniu remontu eksploatatory są w stanie przygotować się do poprawnego wykonania tej operacji. Identyfikacja relatywnie poprawna ma w tym przypadku mniejsze znaczenie dla czynności planowania.

Tab. 21 Lokalizacja i identyfikacja przyczyn degradacji dla przypadku drugiego podwójnej degradacji.

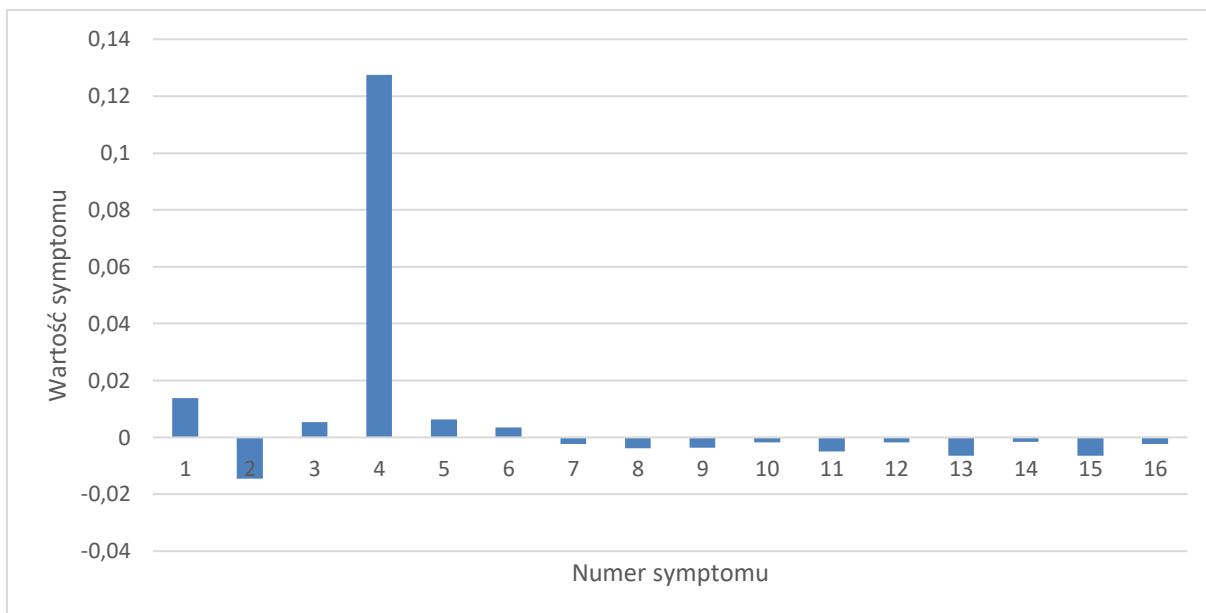
| Wyróżniki potencjalnych przyczyn degradacji | | | 01 | 02 | 03 | 04 | 05 | 06 | 07 | 08 | 09 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | | | |
|---|----------|---------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|--|--|-------------|
| pojedyncze | zadane | znaczn. lokalizacji | | | | | X | X | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | degradacja proc. | | | | | 14 | 66 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | diagnoza | znaczn. lokalizacji | | | | | X | X | | X | | | | | | | | | | | | | | | | | lokalizacja |
| | | degradacja proc. | | | | | 14 | 66 | | 28 | | | | | | | | | | | | | | | | | |

W tym przykładzie podwójnej degradacji uległ luz w uszczelnieniu skrzynki dyszowej zaworu regulacyjnego WP, a także luz w uszczelnieniu zewnętrznym kadłuba WP, znajdują się one blisko siebie i umieszczone są na jednym rurociągu. Pierwszy zmieniono o 78% a drugi o 20% po działaniu algorytmu udało się osiągnąć odpowiednio wartość 65% i 48%. Wynik jest satysfakcjonujący, ponieważ nie pojawiły się żadne dodatkowe uszkodzone elementy turbiny. Charakterystyki dla odpowiednich

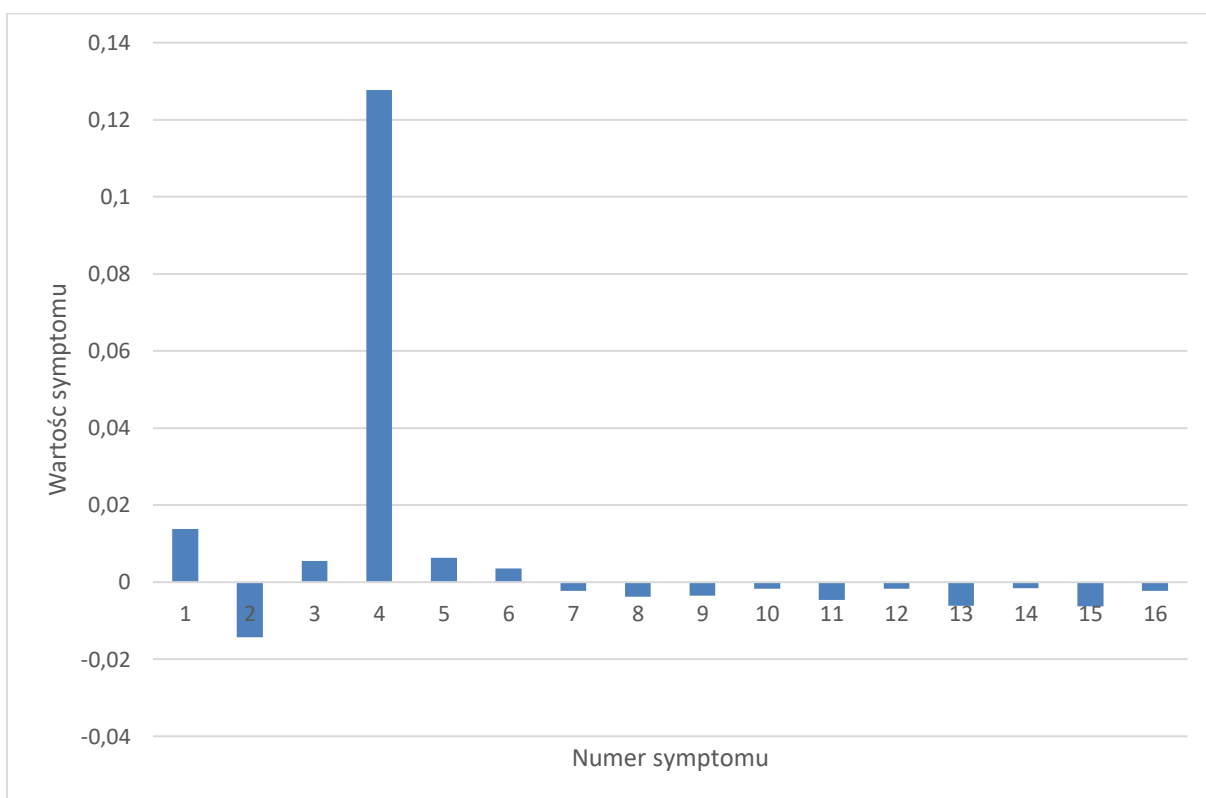
syndromów przedstawiają charakterystyki dla symulowanego syndromu rys. 35, a dla otrzymanego wyniku rys. 36, porównania prezentuje rys. 37. Charakterystyki te stworzono na podstawie danych zamieszczonych w tab. 22.

Tab. 22 Wyniki dla podwójnej degradacji składającej się z degradacji na poziomie 78 % dla luzu w uszczelnieniu skrzynki dyszowej zaworu regulacyjnego WP oraz 20% dla luzu w uszczelnieniach zewnętrznych kadłuba WP.

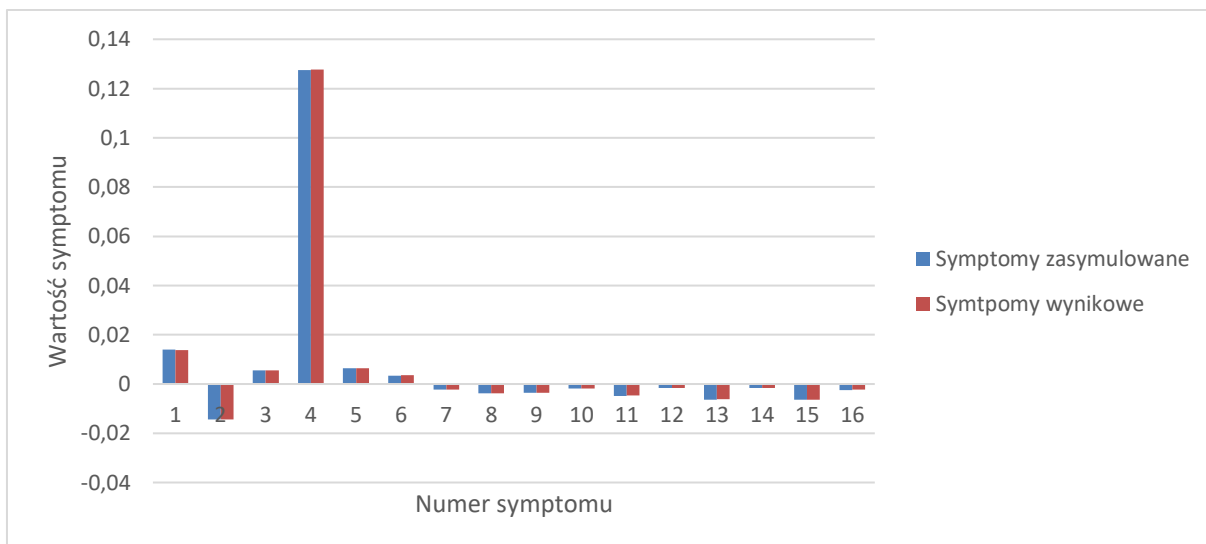
| | Numer symptomu | Wartości referencyjne | Wyniki symulacji dla degradacji | Odchyłka symulacji | Wyniki otrzymane dla poszukiwania degradacji. | Odchyłka poszukiwania degradacji |
|----------------------------|----------------|-----------------------|---------------------------------|--------------------|---|----------------------------------|
| Jednostkowe zużycie ciepła | 1 | 8536,41766 | 8661,59092 | 0,01445 | 8659,79551 | 0,01425 |
| Moc generatora | 2 | 217066,2144 | 213853,49920 | -0,01502 | 213885,61910 | -0,01487 |
| Ciśnienie w upuście 1 | 3 | 41,73193 | 41,96533 | 0,00556 | 41,96783 | 0,00562 |
| Temperatura w upuście 1 | 4 | 397,72850 | 459,92407 | 0,13523 | 460,57803 | 0,13646 |
| Ciśnienie w upuście 2 | 5 | 26,93320 | 27,10756 | 0,00643 | 27,10829 | 0,00646 |
| Temperatura w upuście 2 | 6 | 326,36579 | 327,57612 | 0,00369 | 327,66523 | 0,00397 |
| Ciśnienie w upuście 3 | 7 | 12,33945 | 12,31200 | -0,00223 | 12,31253 | -0,00219 |
| Temperatura w upuście 3 | 8 | 456,18797 | 454,48866 | -0,00374 | 454,49245 | -0,00373 |
| Ciśnienie w upuście 4 | 9 | 5,33691 | 5,31478 | -0,00416 | 5,31502 | -0,00412 |
| Temperatura w upuście 4 | 10 | 423,72003 | 422,77231 | -0,00224 | 422,76761 | -0,00225 |
| Ciśnienie w upuście 5 | 11 | 2,87339 | 2,85506 | -0,00642 | 2,85506 | -0,00642 |
| Temperatura w upuście 5 | 12 | 274,96113 | 274,34204 | -0,00226 | 274,33846 | -0,00227 |
| Ciśnienie w upuście 6 | 13 | 1,33355 | 1,32640 | -0,00539 | 1,32592 | -0,00575 |
| Temperatura w upuście 6 | 14 | 264,54695 | 263,94939 | -0,00226 | 263,94786 | -0,00227 |
| Ciśnienie w upuście 7 | 15 | 0,18069 | 0,17964 | -0,00585 | 0,17963 | -0,00590 |
| Temperatura w upuście 7 | 16 | 57,90795 | 57,78371 | -0,00215 | 57,78276 | -0,00217 |



Rys. 35 Syndrom dla symulowanej dwukrotnej degradacji dla wartości 78% luz w uszczelnieniu skrzynki dyszowej zaworu regulacyjnego WP oraz 20% luz w uszczelnieniu zewnętrznym kadłuba WP.



Rys. 36 Syndrom dla poszukiwania dwukrotnej degradacji (65% luz w uszczelnieniu skrzynki dyszowej zaworu regulacyjnego WP oraz 48% luz w uszczelnieniu zewnętrznym kadłuba WP).



Rys. 37 Porównanie otrzymanych charakterystyk degradacji oraz poszukiwania jej dla 78% luz w uszczelnieniu skrzynki dyszowej zaworu regulacyjnego WP oraz 20% luz w uszczelnieniu zewnętrznym kadłuba WP.

Uwagi odnoszące się do sposobów prezentacji zamieszczone za rys. 19 (str. 40) dotyczą również toku postępowania diagnostycznego w tym kolejnym przypadku. W tab. 23 zamieszczonej poniżej zademonstrowano lokalizację i identyfikację jako wyniki diagnozy w omawianym przypadku zgodnie z przywołanymi powyżej uwagami. Podobnie jak w poprzednio Lokalizację opisuje znacznik lokalizacji „X” na siatce przyczyn degradacji, zaś identyfikację degradacji opisuje procentowa wartość zadanego lub znalezionej wartości degradacji parametru geometrycznego turbiny.

Tworzona procedura diagnostyczna pozwoliła w również i w tym analizowanym przypadku na poprawne zdiagnozowanie i lokalizacji i identyfikacji podwójnej degradacji. Należy tu zwrócić uwagę na poprawną lokalizację degradacji. Wynik poprawnej lokalizacji spełnia ważną rolę dla operatorów bloków energetycznych przy planowaniu wspomnianych już poprzednio akcji serwisowych lub remontowych.

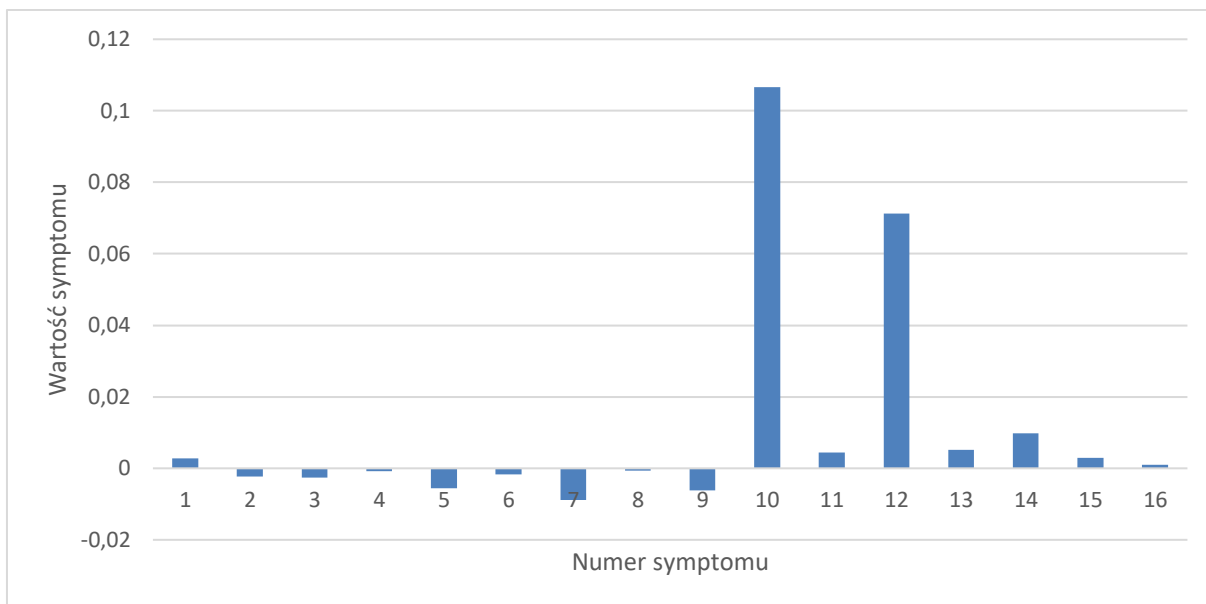
Tab. 23 Lokalizacja i identyfikacja przyczyn degradacji dla przypadku trzeciego podwójnej degradacji.

| Wyróżniki potencjalnych przyczyn degradacji | | | 01 | 02 | 03 | 04 | 05 | 06 | 07 | 08 | 09 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | | |
|---|----------|----------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|--|---------------|
| pojedyncze | zadane | znacznik lokalizacji | X | X | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | degradacja proc. | 78 | 20 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | diagnoza | znacznik lokalizacji | X | X | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | lokalizacja |
| | | degradacja proc. | 65 | 48 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | identyfikacja |

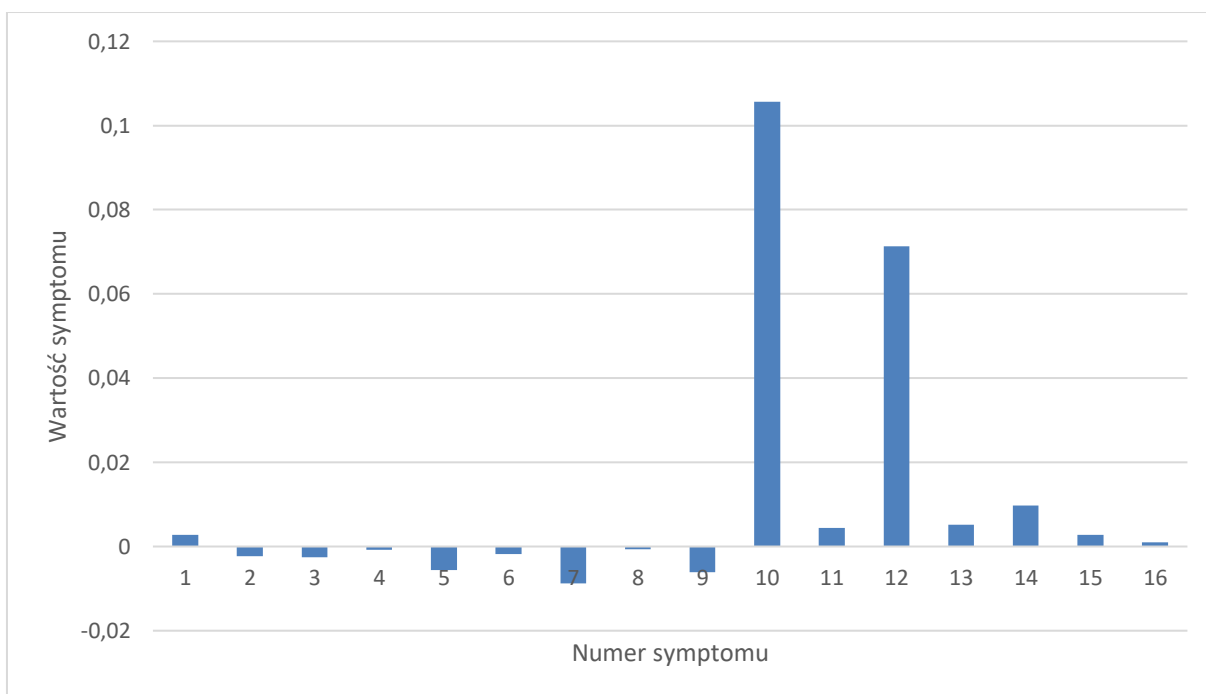
Przykład ten dotyczy uszkodzenia luzu w uszczelnieniach 5 GS SP na poziomie 78%, a także luzu w uszczelnieniu zewnętrznym kadłuba SP posiadający wartość 65% i przedstawia je syndrom umieszczony na rys. 38. W wyniku działania algorytmu uzyskano trzy syndromy dla dwóch symulowanych uszkodzeń udało się uzyskać idealną wartość dla luzu w uszczelnieniach 5 GS SP a drugi element osiągnął wartość 40% a dodatkowy parametr posiada wartość 9 % i jest to luz w uszczelnieniu skrzynki dyszowej zaworu regulacyjnego SP (rys. 38). Porównanie tych syndromów przedstawia rys. 40. Całość otrzymanych wyników umieszczono w tab. 24.

Tab. 24 Wyniki dla podwójnej degradacji składającej się z degradacji na poziomie 78% luzu w uszczelnieniach 5 GS SP oraz 65% luzu w uszczelnieniu zewnętrznym kadłuba SP.

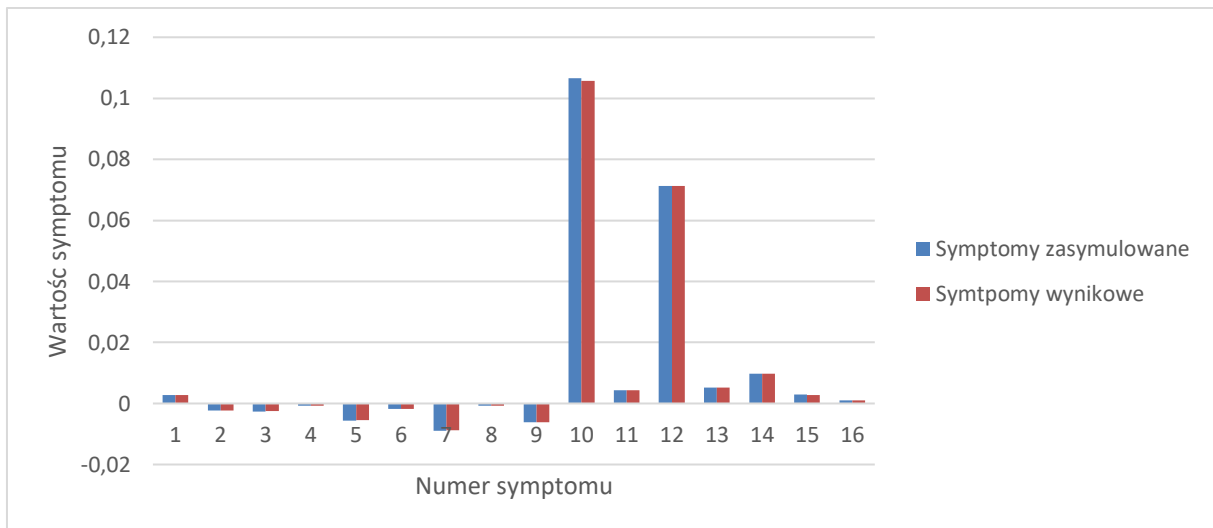
| | Numer symptomu | Wartości referencyjne | Wyniki symulacji dla degradacji | Odchyłka symulacji | Wyniki otrzymane dla poszukiwania degradacji. | Odchyłka poszukiwania degradacji |
|----------------------------|----------------|-----------------------|---------------------------------|--------------------|---|----------------------------------|
| Jednostkowe zużycie ciepła | 1 | 8536,41766 | 8560,73733 | 0,00284 | 8560,55771 | 0,00282 |
| Moc generatora | 2 | 217066,21440 | 216564,08590 | -0,00232 | 216567,40860 | -0,00230 |
| Ciśnienie w upuście 1 | 3 | 41,73193 | 41,62416 | -0,00259 | 41,62538 | -0,00256 |
| Temperatura w upuście 1 | 4 | 397,72850 | 397,41830 | -0,00078 | 397,42178 | -0,00077 |
| Ciśnienie w upuście 2 | 5 | 26,93320 | 26,78343 | -0,00559 | 26,78509 | -0,00553 |
| Temperatura w upuście 2 | 6 | 326,36579 | 325,79127 | -0,00176 | 325,79755 | -0,00174 |
| Ciśnienie w upuście 3 | 7 | 12,33945 | 12,23095 | -0,00887 | 12,23199 | -0,00879 |
| Temperatura w upuście 3 | 8 | 456,18797 | 455,88609 | -0,00066 | 455,88775 | -0,00066 |
| Ciśnienie w upuście 4 | 9 | 5,33691 | 5,30436 | -0,00614 | 5,30431 | -0,00615 |
| Temperatura w upuście 4 | 10 | 423,72003 | 474,25156 | 0,10655 | 473,80646 | 0,10571 |
| Ciśnienie w upuście 5 | 11 | 2,87339 | 2,88611 | 0,00441 | 2,88607 | 0,00439 |
| Temperatura w upuście 5 | 12 | 274,96113 | 296,06751 | 0,07129 | 296,06554 | 0,07128 |
| Ciśnienie w upuście 6 | 13 | 1,33355 | 1,34049 | 0,00518 | 1,34046 | 0,00515 |
| Temperatura w upuście 6 | 14 | 264,54695 | 267,15277 | 0,00975 | 267,15058 | 0,00975 |
| Ciśnienie w upuście 7 | 15 | 0,18069 | 0,18121 | 0,00287 | 0,18120 | 0,00281 |
| Temperatura w upuście 7 | 16 | 57,90795 | 57,96887 | 0,00105 | 57,96859 | 0,00105 |



Rys. 38 Syndrom dla symulowanej dwukrotnej degradacji dla wartości 78% luzu w uszczelnieniach 5 GS SP oraz 65% luzu w uszczelnieniu zewnętrznym kadłuba SP.



Rys. 39 Syndrom dla poszukiwania dwukrotnej degradacji (78% luzu w uszczelnieniach 5 GS SP, 65% luzu w uszczelnieniu zewnętrznym kadłuba SP, 9% luzu w uszczelnieniu skrzynki dyszowej zaworu regulacyjnego SP).



Rys. 40 Porównanie otrzymanych charakterystyk degradacji oraz poszukiwania jej dla 78% luzu w uszczelnieniach 5 GS SP, oraz 65% luzu w uszczelnieniu zewnętrznym kadłuba SP.

Uwagi odnoszące się do sposobów prezentacji zamieszczone za rys. 19 (str. 40) dotyczą również toku postępowania diagnostycznego w tym kolejnym przypadku. W tabeli tab. 25 zamieszczonej poniżej zademonstrowano lokalizację i identyfikację jako wyniki diagnozy w omawianym przypadku zgodnie z przywołanymi powyżej uwagami. Podobnie jak w poprzednio Lokalizację opisuje znacznik lokalizacji „X” na siatce przyczyn degradacji, zaś identyfikację degradacji opisuje procentowa wartość zadanego lub znalezionej rozmiaru degradacji parametru geometrycznego turbiny.

Tworzona procedura diagnostyczna pozwoliła w również i w tym analizowanym przypadku na prawie poprawne zdiagnozowanie i lokalizacji i identyfikacji podwójnej degradacji. Należy tu zwrócić uwagę, podobnie jak w kilku poprzednio komentowanych przypadkach, na znalezienie lokalizacji degradacji dla zadanych parametrów, ale jednocześnie wskazanie innego. Jak było to powiedziane poprzednio, wynik poprawnej lokalizacji i tu gra ważną rolę dla eksploatorów bloków energetycznych przy planowaniu wspominanych już poprzednio akcji serwisowych lub remontowych. Co prawda pojawiło się dodatkowe niezastniałe wskazanie, ale mimo to przy planowaniu remontu eksploatorzy są w stanie przygotować się do poprawnego wykonania tej operacji. Identyfikacja relatywnie poprawna ma w tym przypadku mniejsze znaczenie dla czynności planowania.

Tab. 25 Lokalizacja i identyfikacja przyczyn degradacji dla przypadku czwartego podwójnej degradacji.

| Wyróżniki potencjalnych przyczyn degradacji | | | 01 | 02 | 03 | 04 | 05 | 06 | 07 | 08 | 09 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | | | |
|---|----------|-------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|--|--|-------------|
| pojedyncze | zadane | znac. lokalizacji | | | | | | | | | | X | | | | | | | X | | | | | | | | |
| | | degradacja proc. | | | | | | | | | | | 65 | | | | | | | 78 | | | | | | | |
| | diagnoza | znac. lokalizacji | | | | | | | | | | X | X | | | | | | | X | | | | | | | lokalizacja |
| | | degradacja proc. | | | | | | | | | | | 9 | 40 | | | | | | | 78 | | | | | | |

7.3 Wyniki działania procedury dla potrójnych degradacji

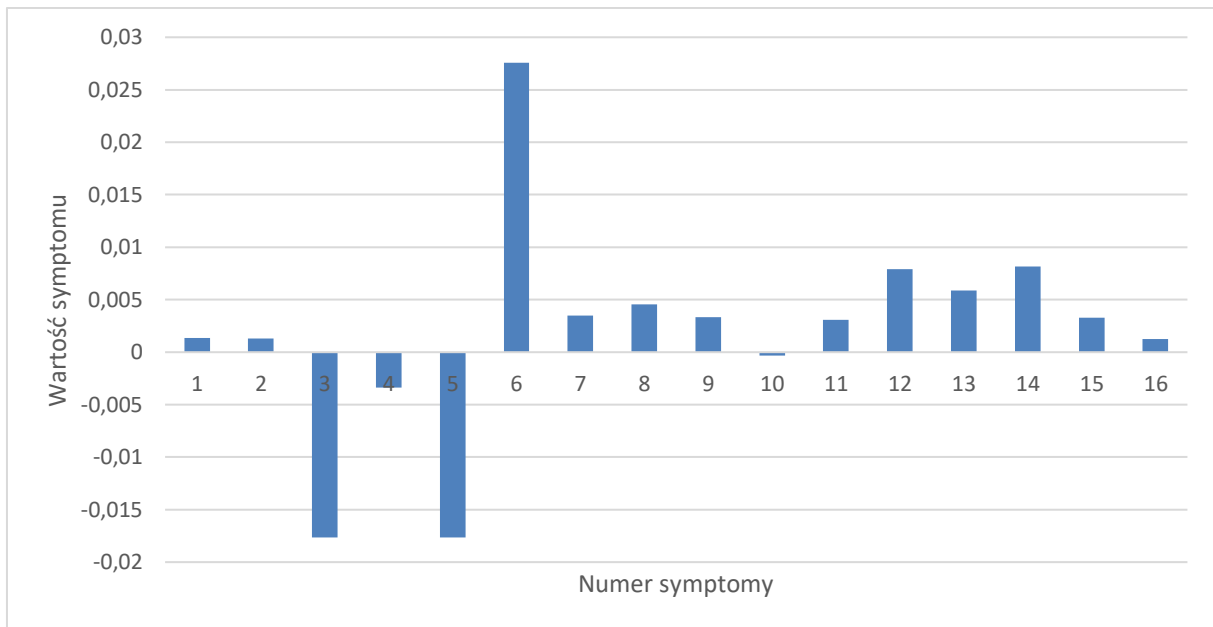
Przeprowadzenie procesu diagnostycznego dla degradacji wielokrotnych należy do skomplikowanych zadań, ponieważ występuje tu wiele zmiennych w tym przypadku degraduje się jednocześnie trzy elementy turbiny parowej. Udało się przeprowadzić poszukiwanie trzykrotnych degradacji, a przykładowe wyniki zostaną przedstawione w tym miejscu pracy. Udało się trafić we wszystkie trzy zasymulowane degradacje, czasami występowały dodatkowe parametry innym razem

były również przypadki nierozpoznania jakiegoś parametru geometrycznego wchodzącego w skład uszkodzenia.

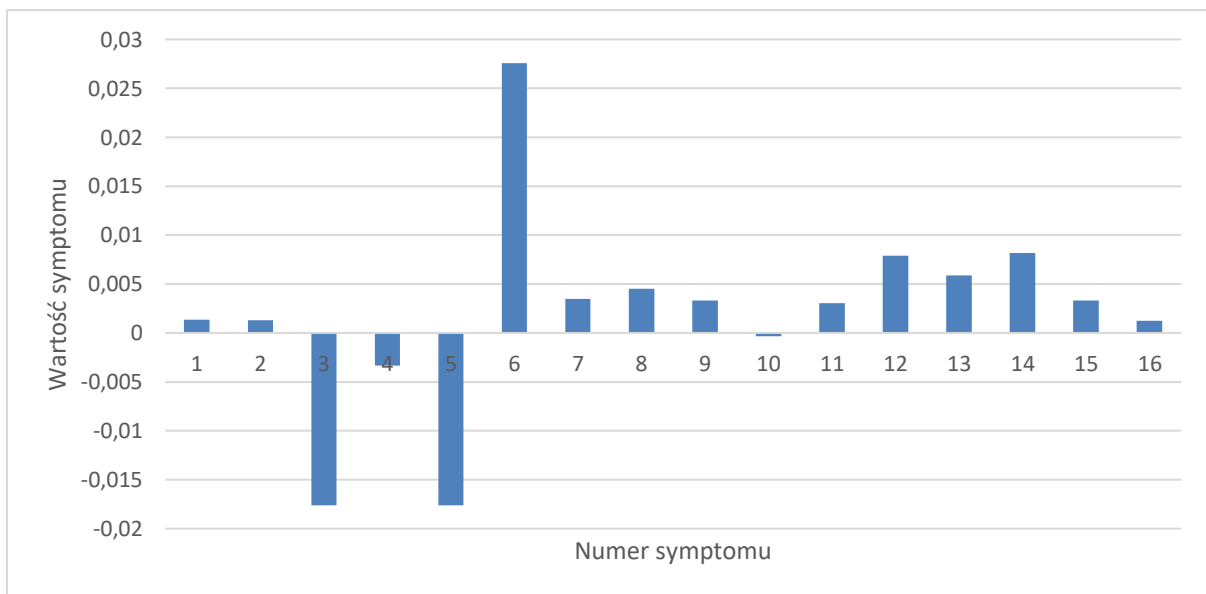
Pierwsza potrójna degradacja składała się z luzu w uszczelnieniach 2 GS WP (14% uszkodzenia), krawędzi spływowych profili 3 GS SP (58% uszkodzenia), luzu w uszczelnieniach 6 GS SP (6% uszkodzenia) i jej syndrom przedstawia rys. 41. Syndrom poszukiwania reprezentuje rys. 42 i zawiera on te same parametry co zasymulowane, dwa parametry różnią się nieznacznie wartością jest to krawędź spływowa profili 3 GS SP i jest ona o 1 % większa niż symulowany, czyli wynosi 59%, a z kolei luz w uszczelnieniach 6 GS SP jest o 2% większy i posiada wartość 8%. Porównanie obu syndromów prezentuje rys. 43, a wszystkie wartości zostały zebrane w tab. 26.

Tab. 26 Wyniki dla potrójnej degradacji składającej się z degradacji na poziomie 14% dla luzu w uszczelnieniach 2 GS WP, 58% dla krawędzi spływowych profili 3 GS SP oraz 6% luzu w uszczelnieniach 6 GS SP.

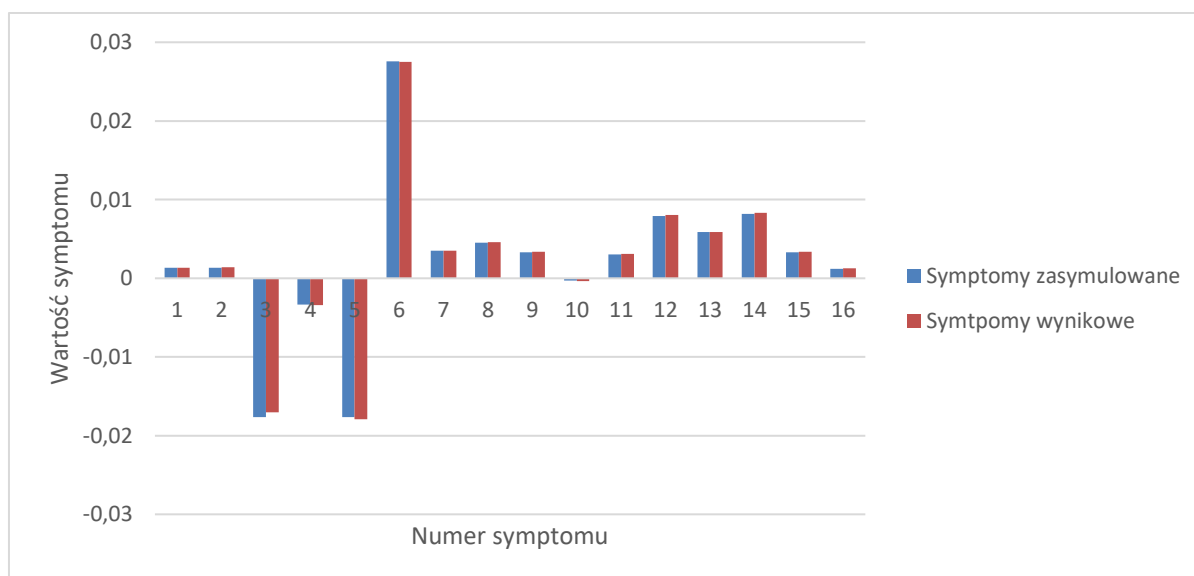
| | Numer symptomu | Wartości referencyjne | Wyniki symulacji dla degradacji | Odchyłka symulacji | Wyniki otrzymane dla poszukiwania degradacji. | Odchyłka poszukiwania degradacji |
|----------------------------|----------------|-----------------------|---------------------------------|--------------------|---|----------------------------------|
| Jednostkowe zużycie ciepła | 1 | 8536,41766 | 8547,78951 | 0,00133 | 8547,57586 | 0,00131 |
| Moc generatora | 2 | 217066,2144 | 217349,83650 | 0,00130 | 217365,11700 | 0,00138 |
| Ciśnienie w upuście 1 | 3 | 41,73193 | 41,00910 | -0,01763 | 41,03324 | -0,01703 |
| Temperatura w upuście 1 | 4 | 397,72850 | 396,40076 | -0,00335 | 396,38180 | -0,00340 |
| Ciśnienie w upuście 2 | 5 | 26,93320 | 26,46654 | -0,01763 | 26,45852 | -0,01794 |
| Temperatura w upuście 2 | 6 | 326,36579 | 335,61702 | 0,02756 | 335,59894 | 0,02751 |
| Ciśnienie w upuście 3 | 7 | 12,33945 | 12,38265 | 0,00349 | 12,38325 | 0,00354 |
| Temperatura w upuście 3 | 8 | 456,18797 | 458,26727 | 0,00454 | 458,30660 | 0,00462 |
| Ciśnienie w upuście 4 | 9 | 5,33691 | 5,35465 | 0,00331 | 5,35486 | 0,00335 |
| Temperatura w upuście 4 | 10 | 423,72003 | 423,58543 | -0,00032 | 423,57580 | -0,00034 |
| Ciśnienie w upuście 5 | 11 | 2,87339 | 2,88221 | 0,00306 | 2,88228 | 0,00308 |
| Temperatura w upuście 5 | 12 | 274,96113 | 277,14614 | 0,00788 | 277,18566 | 0,00803 |
| Ciśnienie w upuście 6 | 13 | 1,33355 | 1,34141 | 0,00586 | 1,34145 | 0,00589 |
| Temperatura w upuście 6 | 14 | 264,54695 | 266,72195 | 0,00815 | 266,76123 | 0,00830 |
| Ciśnienie w upuście 7 | 15 | 0,18069 | 0,18129 | 0,00331 | 0,18130 | 0,00336 |
| Temperatura w upuście 7 | 16 | 57,90795 | 57,97914 | 0,00123 | 57,97968 | 0,00124 |



Rys. 41 Syndrom dla symulowanej potrójnej degradacji dla wartości 14% dla luzu w uszczelnieniach 2 GS WP, 58% dla krawędzi spływowych profili 3 GS SP oraz 6% luzu w uszczelnieniach 6 GS SP.



Rys. 42 Syndrom dla poszukiwania potrójnej degradacji (14% dla luzu w uszczelnieniach 2 GS WP, 59% dla krawędzi spływowych profili 3 GS SP oraz 8% luzu w uszczelnieniach 6 GS SP).



Rys. 43 Porównanie otrzymanych charakterystyk degradacji oraz poszukiwania jej dla 14% dla luzu w uszczelnieniach 2 GS WP, 58% dla krawędzi spływowych profili 3 GS SP oraz 6% luzu w uszczelnieniach 6 GS SP.

Uwagi odnoszące się do sposobów prezentacji zamieszczone za rys. 19 (str. 40) dotyczą również toku postępowania diagnostycznego w tym kolejnym przypadku. W tab. 27 zamieszczonej poniżej zademonstrowano lokalizację i identyfikację jako wyniki diagnozy w omawianym przypadku zgodnie z przywołanymi powyżej uwagami. Podobnie jak w poprzednio Lokalizację opisuje znacznik lokalizacji „X” na siatce przyczyn degradacji, zaś identyfikację degradacji opisuje procentowa wartość zadanego lub znalezionej rozmiaru degradacji parametru geometrycznego turbiny.

Tworzona procedura diagnostyczna pozwoliła w również i w tym analizowanym przypadku na poprawne zdiagnozowanie i lokalizacji i identyfikacji potrójnej degradacji. Należy tu zwrócić uwagę na poprawną lokalizację degradacji. Wynik poprawnej lokalizacji i tu gra ważną rolę dla operatorów bloków energetycznych przy planowaniu wspomnianych już poprzednio akcji serwisowych lub remontowych.

Tab. 27 Lokalizacja i identyfikacja przyczyn degradacji dla przypadku pierwszej potrójnej degradacji.

| Wyróżniki potencjalnych przyczyn degradacji | | 01 | 02 | 03 | 04 | 05 | 06 | 07 | 08 | 09 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | | |
|---|----------|----------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|--|---------------|
| pojedyncze | zadane | znacznik lokalizacji | | | | | X | | | | | | | X | | | | | | | | X | | | |
| | | degradacja proc. | | | | | | 14 | | | | | | | 58 | | | | | | | | 6 | | |
| | diagnoza | znacznik lokalizacji | | | | | | X | | | | | | X | | | | | | | | X | | | |
| | | degradacja proc. | | | | | | 14 | | | | | | | 59 | | | | | | | | 8 | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | lokalizacja |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | identyfikacja |

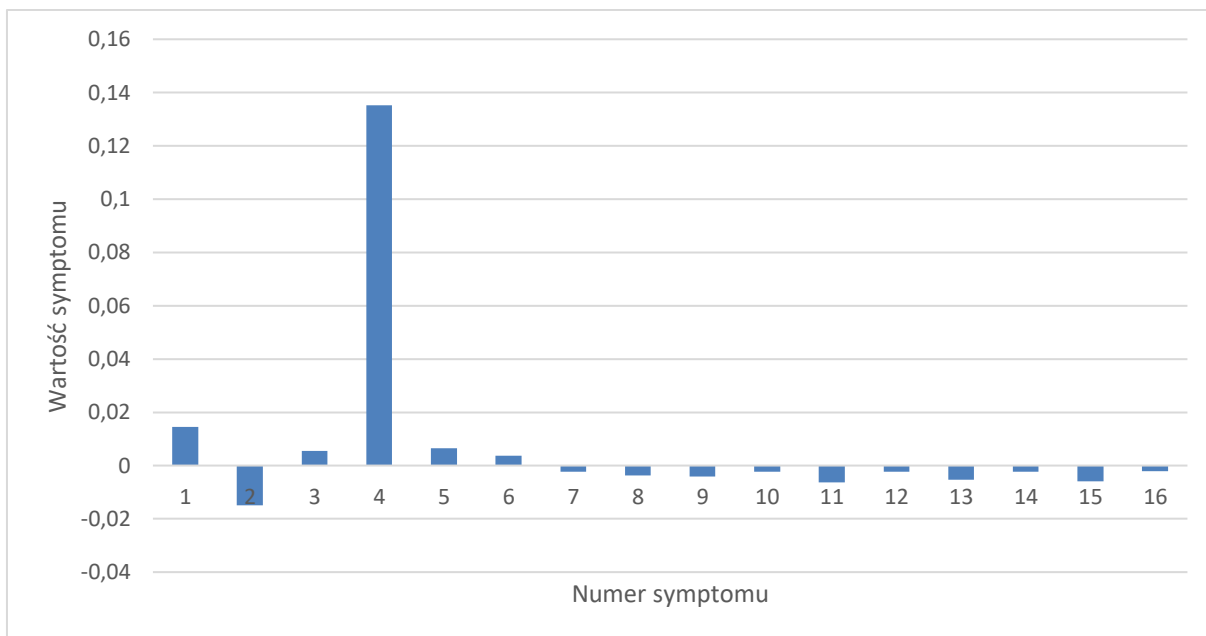
Kolejna symulacja przeprowadzona dla potrójnych uszkodzeń została przedstawiona w tab. 28 oraz na rys. 44, prezentuje on trzy luzy występujące w turbinie. Zmiana ta jest przeprowadzona o 73% dla luzu w uszczelnieniu skrzynki dyszowej zaworu regulacyjnego WP, 43% luzu w uszczelnieniu zewnętrznych kadłuba WP a także 10% luzu w uszczelnieniach 6 GS SP. W rezultacie poszukiwania tych degradacji udało się osiągnąć syndrom (rys. 45) na który złożyły się cztery parametry geometryczne dwa występowały podczas symulacji a dwa zostały dodane jeden z nich wynikała z zależności prezentowane w tab. 9. Elementy które wystąpiły w symulacji to luz w uszczelnieniu skrzynki dyszowej

zaworu regulacyjnego WP (73% uszkodzenia), luz w uszczelnieniu zewnętrznych kadłuba WP (45% uszkodzenia) oraz dwa dodatkowe krawędzie spływowe profili 6 GS SP (5% uszkodzenia) i krawędzie spływowe profili 1 GS WP (2% uszkodzenia). Dwie składowe symulacyjnej degradacji udało się trafić prawie z bardzo dobrą dokładnością jedną idealnie a drugą o różnicę 2%, a dodatkowe mają małą wartość szczególnie krawędzie występujące w części WP i może to być wynik błędu numerycznego. W celu zaprezentowania różnic występujących na odpowiednich syndromach w syndromach którą przedstawia rys. 46.

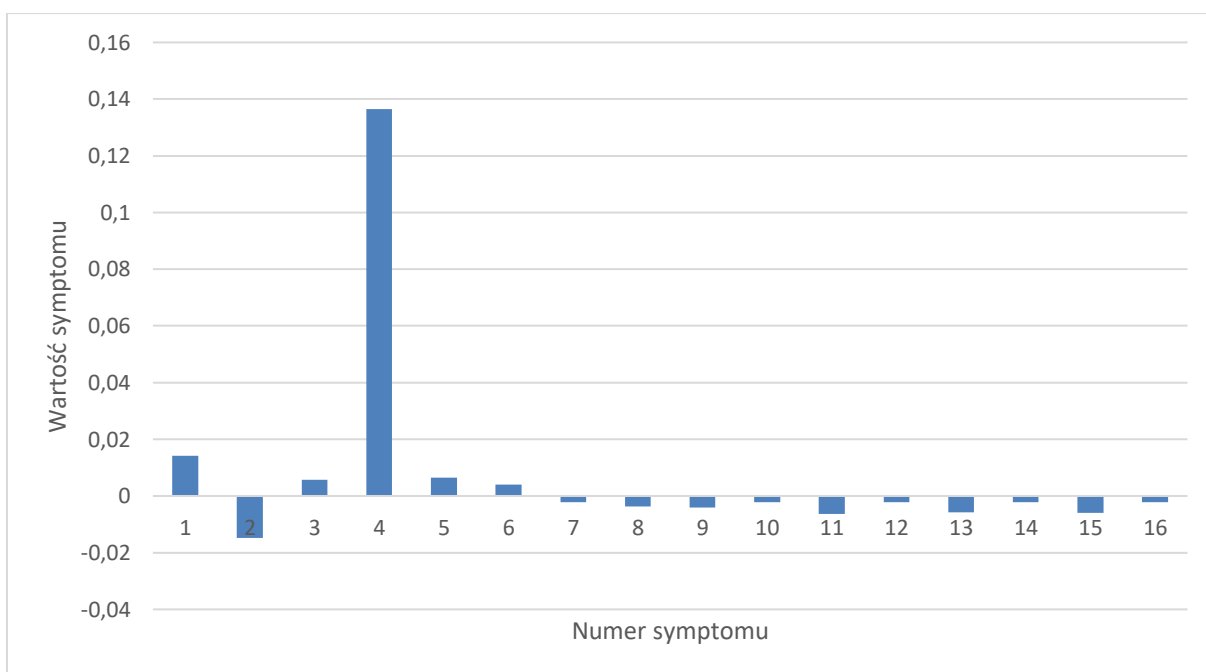
Tab. 28 Wyniki dla potrójnej degradacji składającej się z uszkodzenia 73% dla luzu w uszczelnieniu skrzynki dyszowej zaworu regulacyjnego WP, 43% luzu w uszczelnieniu zewnętrznych kadłuba WP i 10% luzu w uszczelnieniach 6 GS SP

| | Numer symptomu | Wartości referencyjne | Wyniki symulacji dla degradacji | Odchyłka symulacji | Wyniki otrzymane dla poszukiwania degradacji. | Odchyłka poszukiwania degradacji |
|----------------------------|----------------|-----------------------|---------------------------------|--------------------|---|----------------------------------|
| Jednostkowe zużycie ciepła | 1 | 8536,41766 | 8661,59092 | 0,01445 | 8659,79551 | 0,01425 |
| Moc generatora | 2 | 217066,2144 | 213853,49920 | -0,01502 | 213885,61910 | -0,01487 |
| Ciśnienie w upuście 1 | 3 | 41,73193 | 41,96533 | 0,00556 | 41,96783 | 0,00562 |
| Temperatura w upuście 1 | 4 | 397,72850 | 459,92407 | 0,13523 | 460,57803 | 0,13646 |
| Ciśnienie w upuście 2 | 5 | 26,93320 | 27,10756 | 0,00643 | 27,10829 | 0,00646 |
| Temperatura w upuście 2 | 6 | 326,36579 | 327,57612 | 0,00369 | 327,66523 | 0,00397 |
| Ciśnienie w upuście 3 | 7 | 12,33945 | 12,31200 | -0,00223 | 12,31253 | -0,00219 |
| Temperatura w upuście 3 | 8 | 456,18797 | 454,48866 | -0,00374 | 454,49245 | -0,00373 |
| Ciśnienie w upuście 4 | 9 | 5,33691 | 5,31478 | -0,00416 | 5,31502 | -0,00412 |
| Temperatura w upuście 4 | 10 | 423,72003 | 422,77231 | -0,00224 | 422,76761 | -0,00225 |
| Ciśnienie w upuście 5 | 11 | 2,87339 | 2,85506 | -0,00642 | 2,85506 | -0,00642 |
| Temperatura w upuście 5 | 12 | 274,96113 | 274,34204 | -0,00226 | 274,33846 | -0,00227 |
| Ciśnienie w upuście 6 | 13 | 1,33355 | 1,32640 | -0,00539 | 1,32592 | -0,00575 |
| Temperatura w upuście 6 | 14 | 264,54695 | 263,94939 | -0,00226 | 263,94786 | -0,00227 |
| Ciśnienie w upuście 7 | 15 | 0,18069 | 0,17964 | -0,00585 | 0,17963 | -0,00590 |
| Temperatura w upuście 7 | 16 | 57,90795 | 57,78371 | -0,00215 | 57,78276 | -0,00217 |

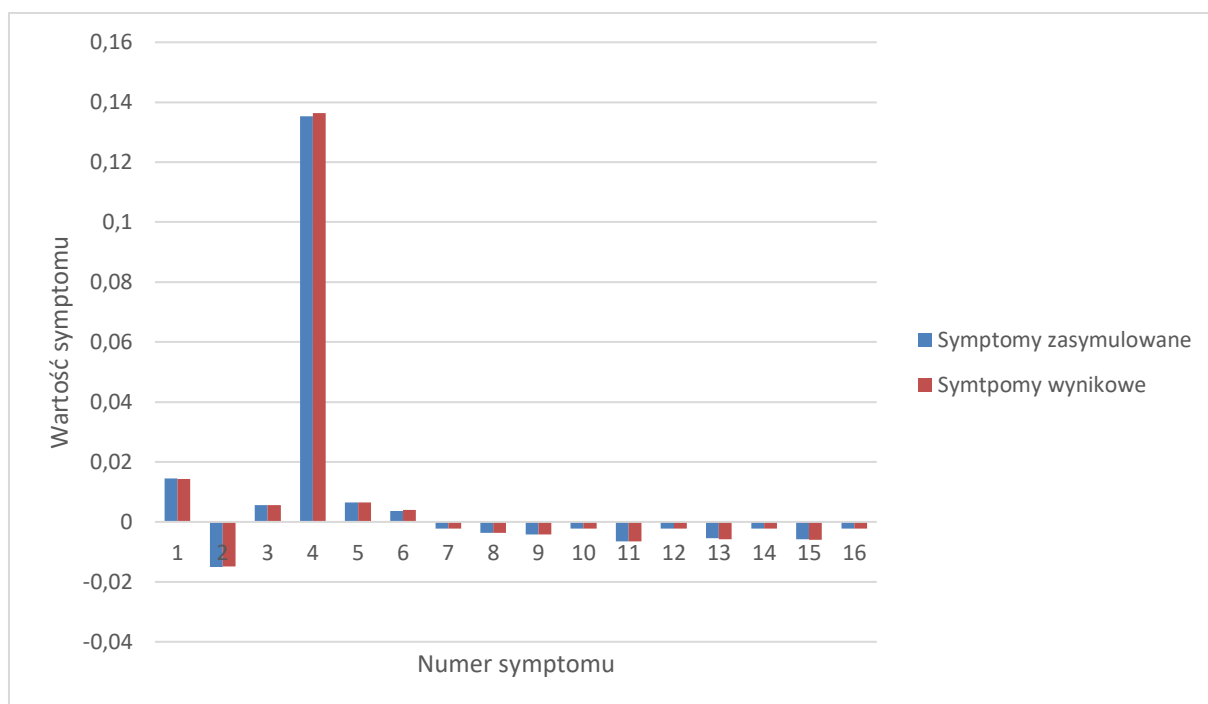




Rys. 44 Syndrom dla symulowanej potrójnej degradacji dla wartości 73% luzu w uszczelnieniu skrzynki dyszowej zaworu regulacyjnego WP, 43% luzu w uszczelnieniu zewnętrznych kadłuba WP i 10% luzu w uszczelnieniach 6 GS SP.



Rys. 45 Syndrom dla poszukiwania potrójnej degradacji (73% luz w uszczelnieniu skrzynki dyszowej zaworu regulacyjnego WP, 45% luz w uszczelnieniu zewnętrznych kadłuba WP, 5% krawędzie spływowe profili 6 GS SP, 2% krawędzie spływowe profili 1 GS WP).



Rys. 46 Porównanie otrzymanych charakterystyk degradacji oraz poszukiwania jej dla 73% luzu w uszczelnieniu skrzynki dyszowej zaworu regulacyjnego WP, 43% luzu w uszczelnieniu zewnętrznych kadłuba WP i 10% luzu w uszczelnieniach 6 GS SP.

Uwagi odnoszące się do sposobów prezentacji zamieszczone za rys. 19 (str. 40) dotyczą również toku postępowania diagnostycznego w tym kolejnym przypadku. W tab. 29 zamieszczonej poniżej zademonstrowano lokalizację i identyfikację jako wyniki diagnozy w omawianym przypadku zgodnie z przywołanymi powyżej uwagami. Podobnie jak w poprzednio Lokalizację opisuje znacznik lokalizacji „X” na siatce przyczyn degradacji, zaś identyfikację degradacji opisuje procentowa wartość zadanego lub znalezionej rozmiaru degradacji parametru geometrycznego turbiny.

Tworzona procedura diagnostyczna pozwoliła w również i w tym analizowanym przypadku na prawie poprawne zdiagnozowanie i lokalizacji i identyfikacji potrójnej degradacji. Należy tu zwrócić uwagę, podobnie jak w kilku poprzednio komentowanych przypadkach, na znalezienie lokalizacji degradacji dla trzech zadanych parametrów, ale jednocześnie wskazanie innego. Jak było to powiedziane poprzednio, wynik poprawnej lokalizacji i tu gra ważną rolę dla eksploatorów bloków energetycznych przy planowaniu wspomnianych już poprzednio akcji serwisowych lub remontowych. Co prawda pojawiło się dodatkowe niezastniałe wskazanie, ale mimo to przy planowaniu remontu eksploatorzy są w stanie przygotować się do poprawnego wykonania tej operacji. Identyfikacja relatywnie poprawna ma w tym przypadku mniejsze znaczenie dla czynności planowania.

Tab. 29 Lokalizacja i identyfikacja przyczyn degradacji dla przypadku drugiego potrójnej degradacji.

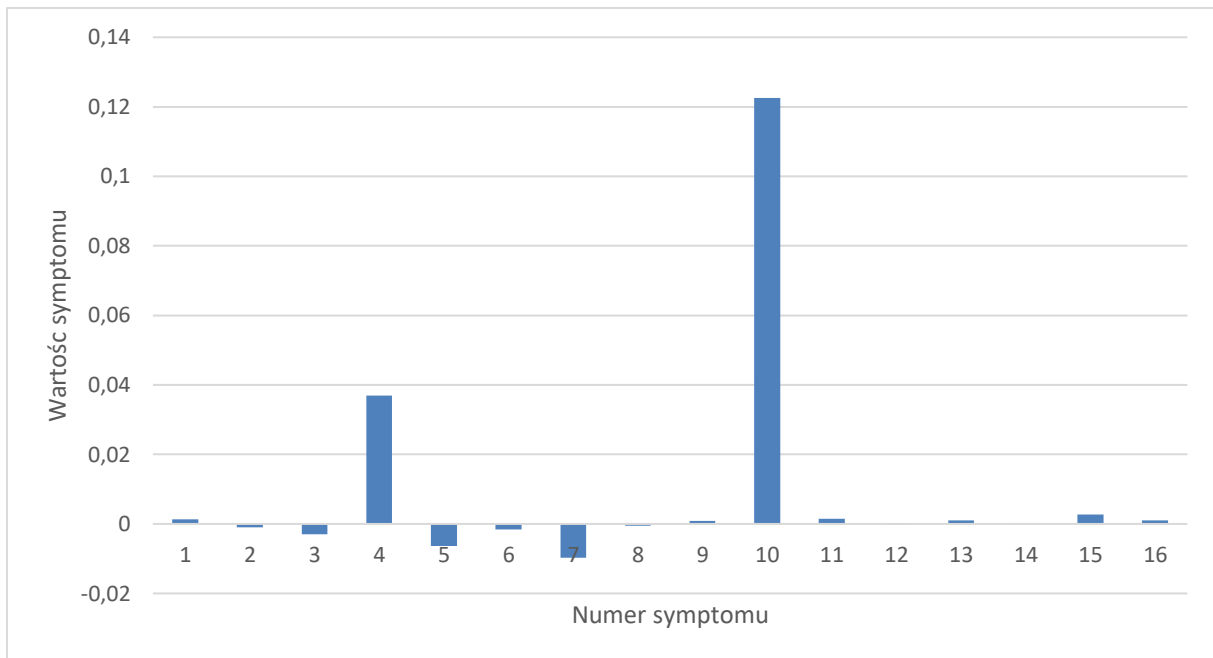
| Wyróżniki potencjalnych przyczyn degradacji | | 01 | 02 | 03 | 04 | 05 | 06 | 07 | 08 | 09 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | | | |
|---|----------|----------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|--|--|---------------|
| pojedyncze | zadane | znacznik lokalizacji | X | X | | | | | | | | | | | | | | | | | | X | | | | |
| | | degradacja proc. | 73 | 43 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 10 | | | |
| | diagnoza | znacznik lokalizacji | X | X | | X | | | | | | | | | | | | | | | | X | | | | lokalizacja |
| | | degradacja proc. | 73 | 45 | | 2 | | | | | | | | | | | | | | | | | 5 | | | identyfikacja |

Trzeci przykład dotyczy symulacji uszkodzenia geometrii na poziomie 25% luzu w uszczelnieniu skrzynki dyszowej zaworu regulacyjnego WP, 32% luzu w uszczelnieniu skrzynki dyszowej zaworu regulacyjnego SP oraz 62% luzu w uszczelnieniu zewnętrznym kadłuba SP. Symulację uszkodzenia prezentuje rys. 47, a wynik poszukiwania tej zmiany geometrii rys. 48 i zostały one stworzone dla danych zamieszczonych w tab. 30. W celu zaprezentowania różnicy wartości w syndromach przedstawiona dwa te syndromy na jednym wykresie rys. 49. W wyniku poszukiwania degradacji uzyskano syndrom składający się z tych samych elementów co syndrom symulowany różnił się on tylko wartością procentową składników: pierwszy miał taką samą wartość, drugi i trzeci 49%.

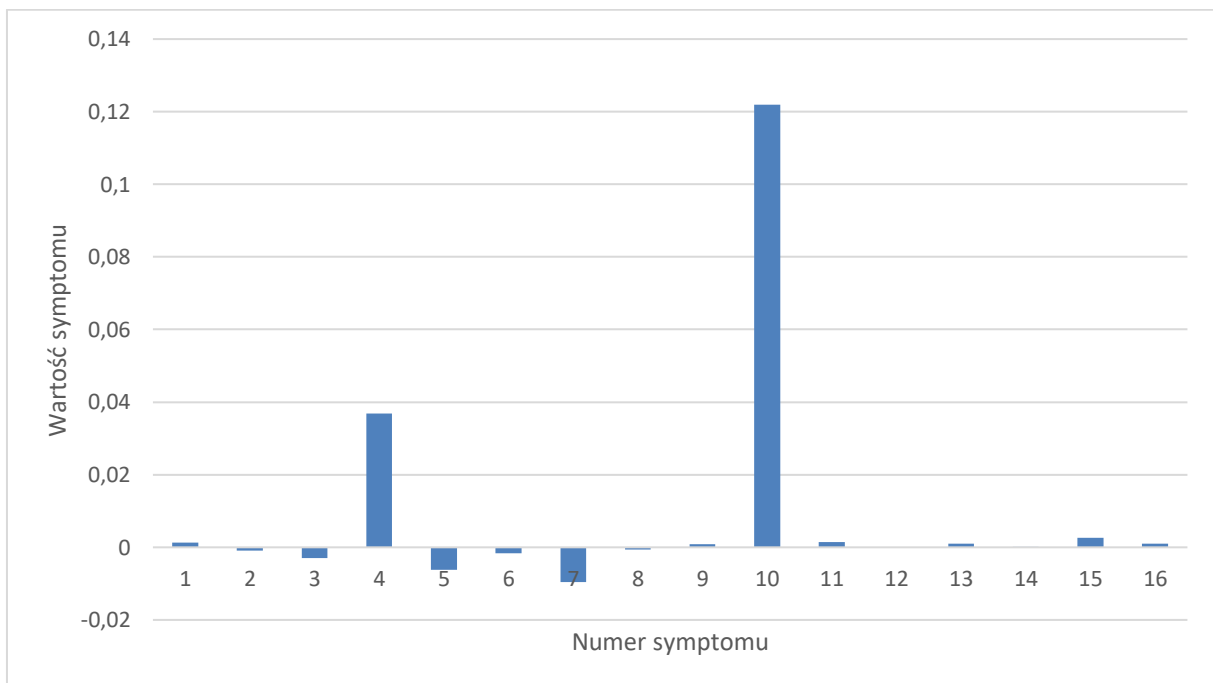
Tab. 30 Wyniki dla potrójnej degradacji składającej się z degradacji na poziomie 25% luzu w uszczelnieniu skrzynki dyszowej zaworu regulacyjnego WP, 32% luzu w uszczelnieniu skrzynki dyszowej zaworu regulacyjnego SP oraz 62% luzu w uszczelnieniu zewnętrznym kadłuba SP.

| | Numer symptomu | Wartości referencyjne | Wyniki symulacji dla degradacji | Odchyłka symulacji | Wyniki otrzymane dla poszukiwania degradacji. | Odchyłka poszukiwania degradacji |
|----------------------------|----------------|-----------------------|---------------------------------|--------------------|---|----------------------------------|
| Jednostkowe zużycie ciepła | 1 | 8536,41766 | 8548,21811 | 0,00138 | 8548,11106 | 0,00137 |
| Moc generatora | 2 | 217066,2144 | 216854,71040 | -0,00098 | 216856,44230 | -0,00097 |
| Ciśnienie w upuście 1 | 3 | 41,73193 | 41,60974 | -0,00294 | 41,61045 | -0,00292 |
| Temperatura w upuście 1 | 4 | 397,72850 | 412,97490 | 0,03692 | 412,97730 | 0,03692 |
| Ciśnienie w upuście 2 | 5 | 26,93320 | 26,76441 | -0,00631 | 26,76545 | -0,00627 |
| Temperatura w upuście 2 | 6 | 326,36579 | 325,84838 | -0,00159 | 325,85222 | -0,00158 |
| Ciśnienie w upuście 3 | 7 | 12,33945 | 12,22126 | -0,00967 | 12,22192 | -0,00962 |
| Temperatura w upuście 3 | 8 | 456,18797 | 455,93824 | -0,00055 | 455,93896 | -0,00055 |
| Ciśnienie w upuście 4 | 9 | 5,33691 | 5,34173 | 0,00090 | 5,34170 | 0,00090 |
| Temperatura w upuście 4 | 10 | 423,72003 | 482,85514 | 0,12247 | 482,56807 | 0,12195 |
| Ciśnienie w upuście 5 | 11 | 2,87339 | 2,87749 | 0,00142 | 2,87747 | 0,00142 |
| Temperatura w upuście 5 | 12 | 274,96113 | 274,93841 | -0,00008 | 274,93694 | -0,00009 |
| Ciśnienie w upuście 6 | 13 | 1,33355 | 1,33485 | 0,00097 | 1,33484 | 0,00097 |
| Temperatura w upuście 6 | 14 | 264,54695 | 264,54992 | 0,00001 | 264,54837 | 0,00001 |
| Ciśnienie w upuście 7 | 15 | 0,18069 | 0,18117 | 0,00265 | 0,18117 | 0,00265 |
| Temperatura w upuście 7 | 16 | 57,90795 | 57,96495 | 0,00098 | 57,96478 | 0,00098 |

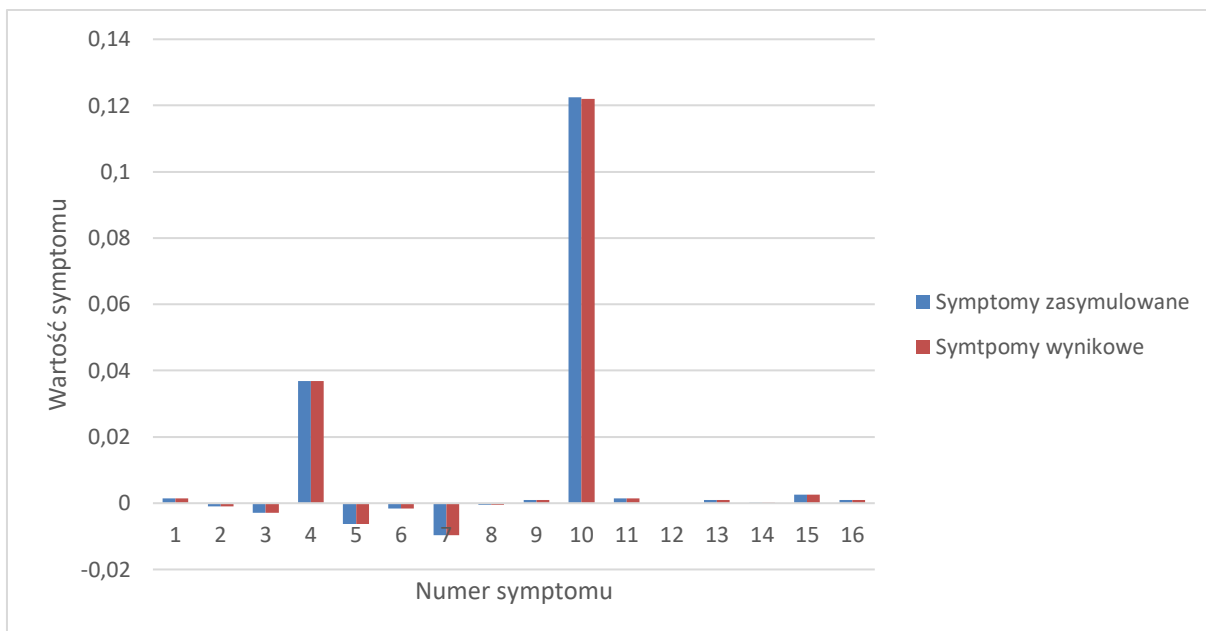




Rys. 47 Syndrom dla symulowanej potrójnej degradacji dla wartości 25% luzu w uszczelnieniu skrzynki dyszowej zaworu regulacyjnego WP, 32% luzu w uszczelnieniu skrzynki dyszowej zaworu regulacyjnego SP oraz 62% luzu w uszczelnieniu zewnętrznym kadłuba SP.



Rys. 48 Syndrom dla poszukiwania potrójnej degradacji (25% luzu w uszczelnieniu skrzynki dyszowej zaworu regulacyjnego WP, 49% luzu w uszczelnieniu skrzynki dyszowej zaworu regulacyjnego SP oraz 49% luzu w uszczelnieniu zewnętrznym kadłuba SP).



Rys. 49 Porównanie otrzymanych charakterystyk degradacji oraz poszukiwania jej dla 25% luzu w uszczelnieniu skrzynki dyszowej zaworu regulacyjnego WP, 32% luzu w uszczelnieniu skrzynki dyszowej zaworu regulacyjnego SP oraz 62% luzu w uszczelnieniu zewnętrznym kadłuba SP.

Uwagi odnoszące się do sposobów prezentacji zamieszczone za rys. 19 (str. 40) dotyczą również toku postępowania diagnostycznego w tym kolejnym przypadku. W tab. 31 zamieszczonej poniżej zademonstrowano lokalizację i identyfikację jako wyniki diagnozy w omawianym przypadku zgodnie z przywołanymi powyżej uwagami. Podobnie jak w poprzednio lokalizację opisuje znacznik lokalizacji „X” na siatce przyczyn degradacji, zaś identyfikację degradacji opisuje procentowa wartość zadanego lub znalezionej wartości degradacji parametru geometrycznego turbiny.

Tworzona procedura diagnostyczna pozwoliła w również i w tym analizowanym przypadku na poprawne zdiagnozowanie i lokalizacji i identyfikacji potrójnej degradacji. Należy tu zwrócić uwagę na poprawną lokalizację degradacji. Wynik poprawnej lokalizacji i tu gra ważną rolę dla eksploatorów bloków energetycznych przy planowaniu wspomnianych już poprzednio akcji serwisowych lub remontowych.

Tab. 31 Lokalizacja i identyfikacja przyczyn degradacji dla przypadku trzeciego potrójnej degradacji.

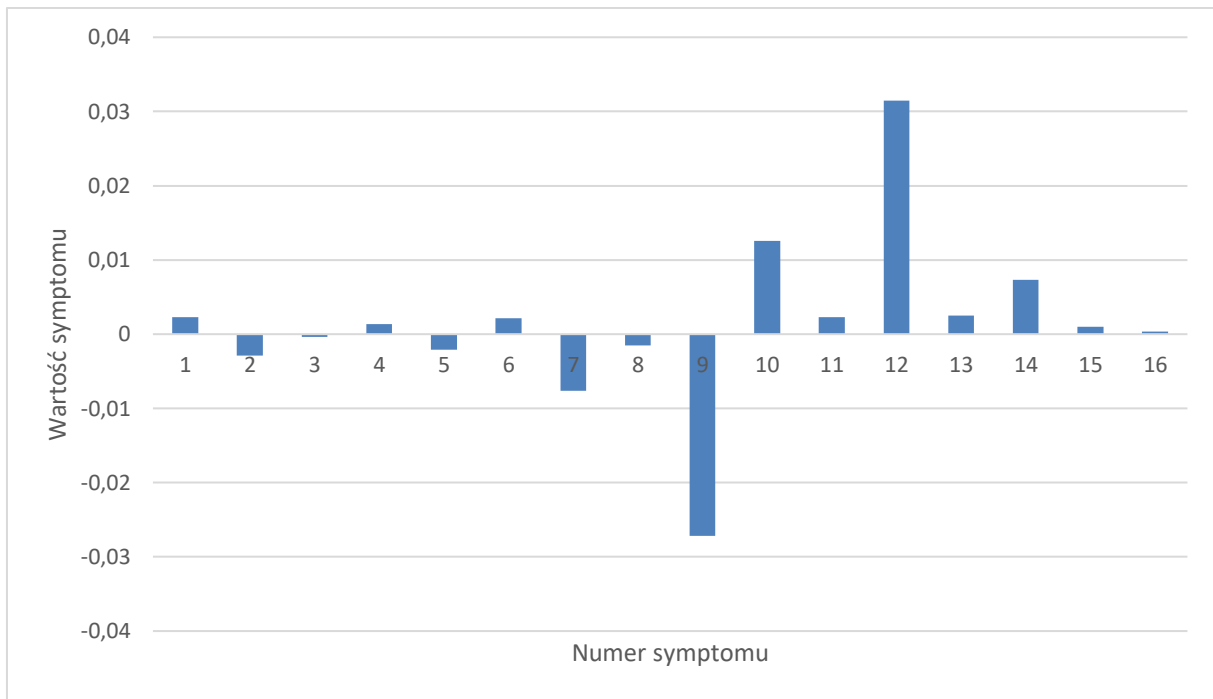
| Wyróżniki potencjalnych przyczyn degradacji | | | 01 | 02 | 03 | 04 | 05 | 06 | 07 | 08 | 09 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | | | |
|---|----------|----------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|--|--|---------------|
| pojedyncze | zadane | znacznik lokalizacji | X | | | | | | | | | X | X | | | | | | | | | | | | | | |
| | | degradacja proc. | 25 | | | | | | | | | 32 | 32 | | | | | | | | | | | | | | |
| | diagnoza | znacznik lokalizacji | X | | | | | | | | | X | X | | | | | | | | | | | | | | lokalizacja |
| | | degradacja proc. | 25 | | | | | | | | | 49 | 49 | | | | | | | | | | | | | | identyfikacja |

Ostatni przykład dotyczący potrójnych degradacji został stworzony dla krawędzi spływowych profili 1 GS WP (25% uszkodzenia), luzu w uszczelnieniach 5 GS SP (34% uszkodzenia) oraz krawędzi spływowych profili 5 GS SP (58% uszkodzenia), przedstawia go syndrom rys. 50. W wyniku działania modelu udało się uzyskać 100% symulowanej wartości degradacji co przedstawia rys. 51 a porównanie

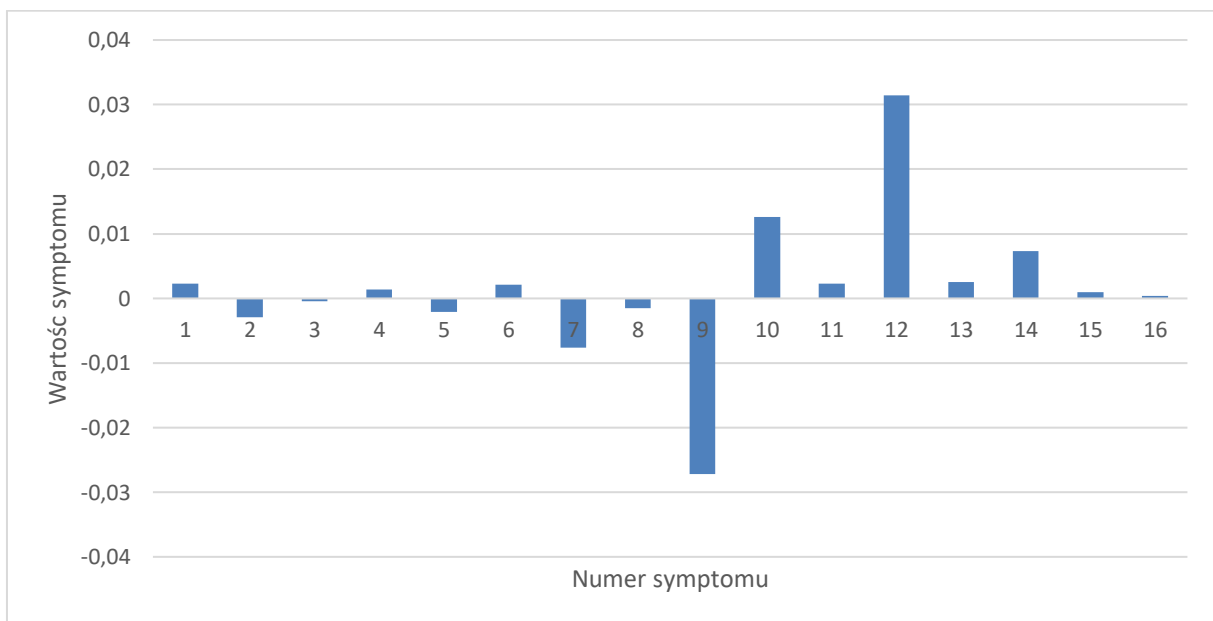
ich znajduje się na rys. 52 co pokazuje, że syndrom poszukiwania degradacji jest taki sam jak symulowany. Otrzymane wyniki zostały zamieszczone w tab. 32.

Tab. 32 Wyniki dla potrójnej degradacji składającej się z degradacji na poziomie 25% krawędzi spływowych profili 1 GS WP, 34% dla luzu w uszczelnieniach 5 GS SP, 58% krawędzi spływowych profili 5 GS SP.

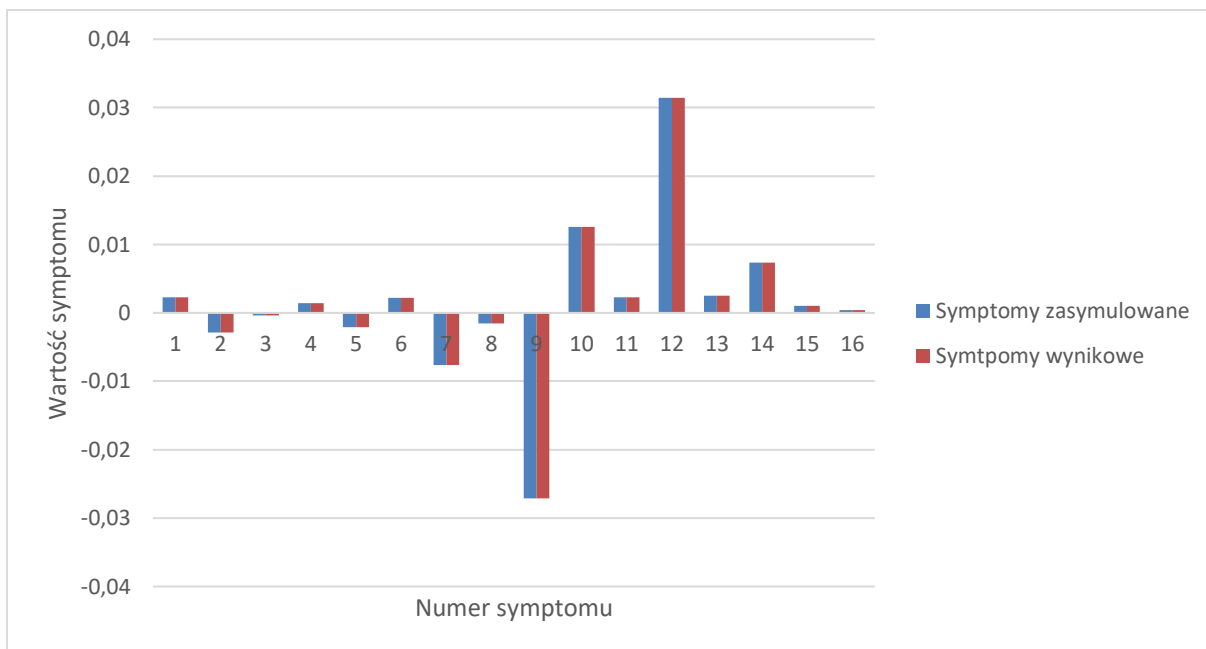
| | Numer symptomu | Wartości referencyjne | Wyniki symulacji dla degradacji | Odchyłka symulacji | Wyniki otrzymane dla poszukiwania degradacji | Odchyłka poszukiwania degradacji |
|----------------------------|----------------|-----------------------|---------------------------------|--------------------|--|----------------------------------|
| Jednostkowe zużycie ciepła | 1 | 8536,41766 | 8555,75565 | 0,00226 | 8555,75565 | 0,00226 |
| Moc generatora | 2 | 217066,2144 | 216442,31110 | -0,00288 | 216442,31110 | -0,00288 |
| Ciśnienie w upuście 1 | 3 | 41,73193 | 41,71515 | -0,00040 | 41,71515 | -0,00040 |
| Temperatura w upuście 1 | 4 | 397,72850 | 398,27973 | 0,00138 | 398,27973 | 0,00138 |
| Ciśnienie w upuście 2 | 5 | 26,93320 | 26,87774 | -0,00206 | 26,87774 | -0,00206 |
| Temperatura w upuście 2 | 6 | 326,36579 | 327,07325 | 0,00216 | 327,07325 | 0,00216 |
| Ciśnienie w upuście 3 | 7 | 12,33945 | 12,24602 | -0,00763 | 12,24602 | -0,00763 |
| Temperatura w upuście 3 | 8 | 456,18797 | 455,49893 | -0,00151 | 455,49893 | -0,00151 |
| Ciśnienie w upuście 4 | 9 | 5,33691 | 5,19583 | -0,02715 | 5,19583 | -0,02715 |
| Temperatura w upuście 4 | 10 | 423,72003 | 429,11382 | 0,01257 | 429,11382 | 0,01257 |
| Ciśnienie w upuście 5 | 11 | 2,87339 | 2,87989 | 0,00226 | 2,87989 | 0,00226 |
| Temperatura w upuście 5 | 12 | 274,96113 | 283,89364 | 0,03146 | 283,89364 | 0,03146 |
| Ciśnienie w upuście 6 | 13 | 1,33355 | 1,33689 | 0,00250 | 1,33689 | 0,00250 |
| Temperatura w upuście 6 | 14 | 264,54695 | 266,50198 | 0,00734 | 266,50198 | 0,00734 |
| Ciśnienie w upuście 7 | 15 | 0,18069 | 0,18087 | 0,00100 | 0,18087 | 0,00100 |
| Temperatura w upuście 7 | 16 | 57,90795 | 57,92976 | 0,00038 | 57,92976 | 0,00038 |



Rys. 50 Syndrom dla symulowanej potrójnej degradacji dla wartości 25% krawędzi spływowych profili 1 GS WP, 34% dla luzu w uszczelnieniach 5 GS SP, 58% krawędzi spływowych profili 5 GS SP.



Rys. 51 Syndrom dla poszukiwania potrójnej degradacji (25% krawędzi spływowych profili 1 GS WP, 34% dla luzu w uszczelnieniach 5 GS SP, 58% krawędzi spływowych profili 5 GS SP).



Rys. 52 Porównanie otrzymanych charakterystyk degradacji oraz poszukiwania jej dla wartości 25% krawędzi spływowych profilu 1 GS WP, 34% dla luzu w uszczelnieniach 5 GS SP, 58% krawędzi spływowych profilu 5 GS SP.

Uwagi odnoszące się do sposobów prezentacji zamieszczone za rys. 19 (str. 40) dotyczą również toku postępowania diagnostycznego w tym kolejnym przypadku. W tab. 33 zamieszczonej poniżej zademonstrowano lokalizację i identyfikację jako wyniki diagnozy w omawianym przypadku zgodnie z przywołanymi powyżej uwagami. Podobnie jak w poprzednio lokalizację opisuje znacznik lokalizacji „X” na siatce przyczyn degradacji, zaś identyfikację degradacji opisuje procentowa wartość zadanego lub znalezionej rozmiar degradacji parametru geometrycznego turbiny.

Tworzona procedura diagnostyczna pozwoliła w również i w tym analizowanym przypadku na poprawne zdiagnozowanie i lokalizacji i identyfikacji potrójnej degradacji. Należy tu zwrócić uwagę na poprawną lokalizację degradacji. Wynik poprawnej lokalizacji i tu gra ważną rolę dla eksploatatorów bloków energetycznych przy planowaniu wspomnianych już poprzednio akcji serwisowych lub remontowych.

Tab. 33 Lokalizacja i identyfikacja przyczyn degradacji dla przypadku czwartego potrójnej degradacji.

| Wyróżniki potencjalnych przyczyn degradacji | | 01 | 02 | 03 | 04 | 05 | 06 | 07 | 08 | 09 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | |
|---|----------|-------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|--|
| pojedyncze | zadane | znac. lokalizacji | | | | X | | | | | | | | | | | | X | X | | | | | |
| | | degradacja proc. | | | | 25 | | | | | | | | | | | | | 34 | 58 | | | | |
| | diagnoza | znac. lokalizacji | | | | X | | | | | | | | | | | | | X | X | | | | |
| | | degradacja proc. | | | | 25 | | | | | | | | | | | | | | 34 | 58 | | | |

7.4 Wyniki działania procedury dla poczwórnych degradacji

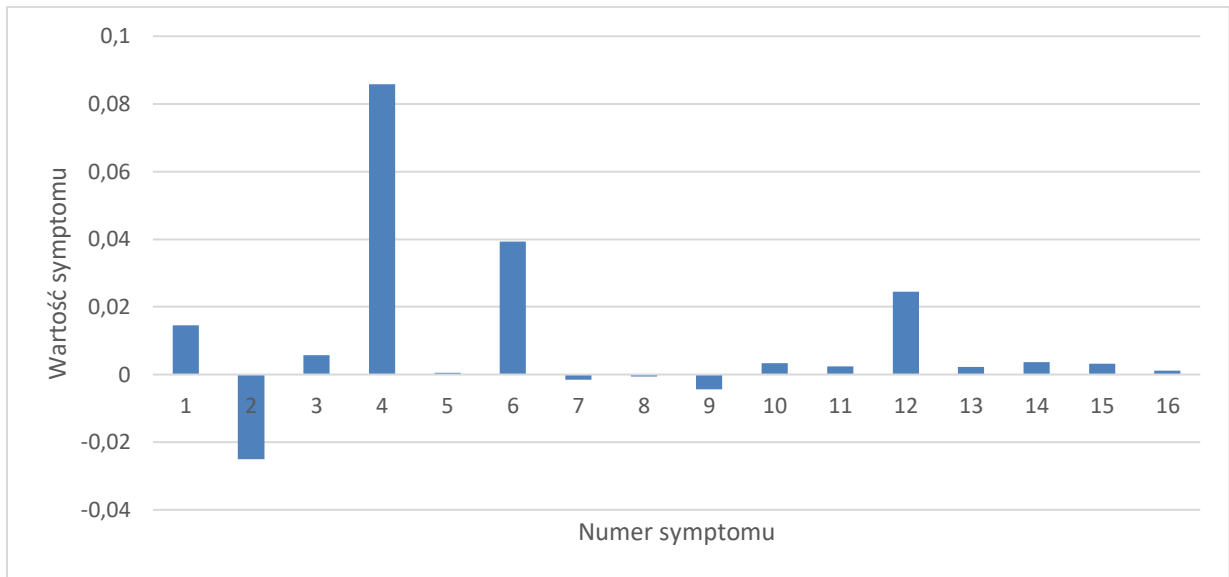
Wraz ze zwiększeniem rozpoznawania degradacji zwiększa się stopień trudności ich wyszukania oraz czas potrzebny na obliczenia w związku z tym z pośród przedstawionych poczwórnie uszkodzenia są najbardziej skomplikowane. Model wykorzystujący algorytmy genetyczne potrzebowała najwięcej czasu, aby wyszukać uszkodzone elementy geometrii turbiny.

Pierwsze zasymulowane uszkodzenie geometrii turbiny składa się z 18% wartości luzu w uszczelnieniu skrzynki dyszowej zaworu regulacyjnego WP, 38% luzu w uszczelnieniu zewnętrznym kadłuba WP, 42% luzu w uszczelnieniach 1 GS WP, 25% luzu w uszczelnieniach 5 GS SP i degradację tą prezentuj rys. 53. Wartości symulowanego syndromu jak i poszukiwania go pokazuje tab. 34. Wynik prezentującym syndrom poszukiwania degradacji pokazano na rys. 54, i składa się on ze wszystkich elementów geometrii, które były zasymulowane oraz jednego inne. W syndromie poszukiwania degradacji znajdują się elementy geometryczne posiadające wielkość na poziomie 19% wartości luzu w uszczelnieniu skrzynki dyszowej zaworu regulacyjnego WP, 35% luzu w uszczelnieniu zewnętrznym kadłuba WP, 40% luzu w uszczelnieniach 1 GS WP, 25% luzu w uszczelnieniach 5 GS SP oraz 17% krawędzi spływowych profili 1 GS WP. Dokonano również porównania otrzymanych syndromów i zaprezentowano jest na rys. 55 gdzie odpowiednie syndromy posiadają podobną wartość.

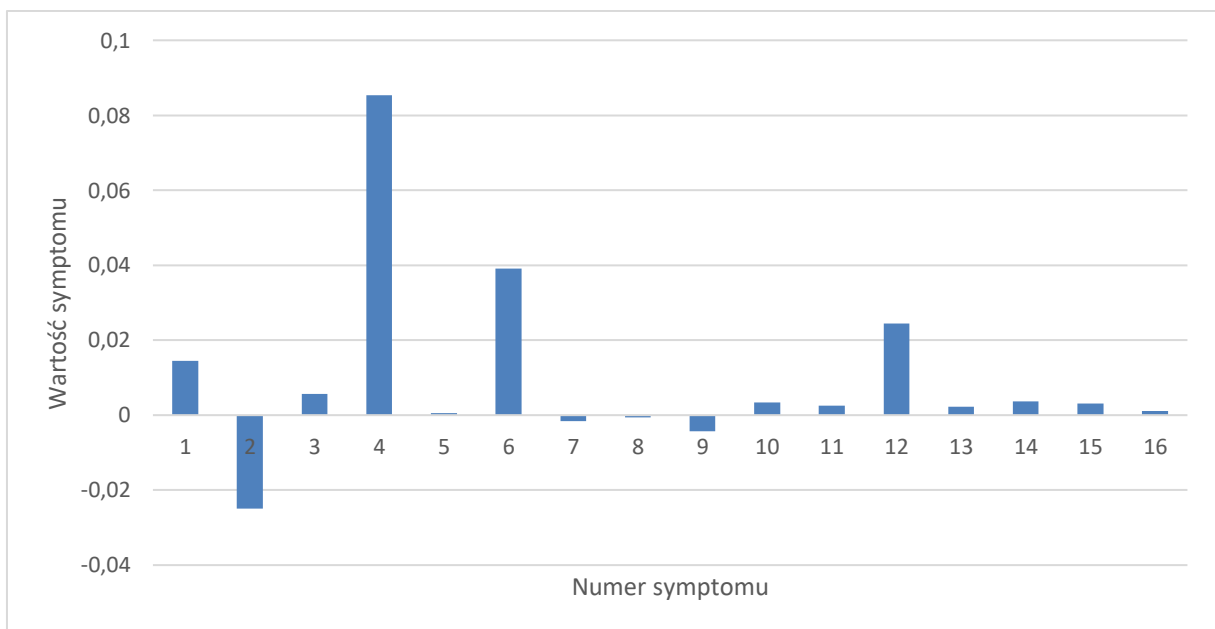
Tab. 34 Wyniki dla poczwórnej degradacji składającej się z degradacji na poziomie 18% wartości luzu w uszczelnieniu skrzynki dyszowej zaworu regulacyjnego WP, 38% luzu w uszczelnieniu zewnętrznym kadłuba WP, 42% luzu w uszczelnieniach 1 GS WP, 25% luzu w uszczelnieniach 5 GS SP.

| | Numer symptomu | Wartości referencyjne | Wyniki symulacji dla degradacji | Odchyłka symulacji | Wyniki otrzymane dla poszukiwania degradacji. | Odchyłka poszukiwania degradacji |
|----------------------------|----------------|-----------------------|---------------------------------|--------------------|---|----------------------------------|
| Jednostkowe zużycie ciepła | 1 | 8536,41766 | 8663,02916 | 0,01462 | 8662,25874 | 0,01453 |
| Moc generatora | 2 | 217066,2144 | 211760,5959 | -0,02505 | 211788,71210 | -0,02492 |
| Ciśnienie w upuście 1 | 3 | 41,73193 | 41,97185 | 0,00572 | 41,97084 | 0,00569 |
| Temperatura w upuście 1 | 4 | 397,72850 | 435,05682 | 0,08580 | 434,82249 | 0,08531 |
| Ciśnienie w upuście 2 | 5 | 26,93320 | 26,94795 | 0,00055 | 26,94790 | 0,00055 |
| Temperatura w upuście 2 | 6 | 326,36579 | 339,71198 | 0,03929 | 339,65390 | 0,03912 |
| Ciśnienie w upuście 3 | 7 | 12,33945 | 12,32005 | -0,00157 | 12,32000 | -0,00158 |
| Temperatura w upuście 3 | 8 | 456,18797 | 455,92289 | -0,00058 | 455,92321 | -0,00058 |
| Ciśnienie w upuście 4 | 9 | 5,33691 | 5,31397 | -0,00432 | 5,31391 | -0,00433 |
| Temperatura w upuście 4 | 10 | 423,72003 | 425,16634 | 0,00340 | 425,16393 | 0,00340 |
| Ciśnienie w upuście 5 | 11 | 2,87339 | 2,88052 | 0,00248 | 2,88049 | 0,00246 |
| Temperatura w upuście 5 | 12 | 274,96113 | 281,86368 | 0,02449 | 281,86356 | 0,02449 |
| Ciśnienie w upuście 6 | 13 | 1,33355 | 1,33661 | 0,00229 | 1,33650 | 0,00221 |
| Temperatura w upuście 6 | 14 | 264,54695 | 265,52907 | 0,00370 | 265,52862 | 0,00370 |

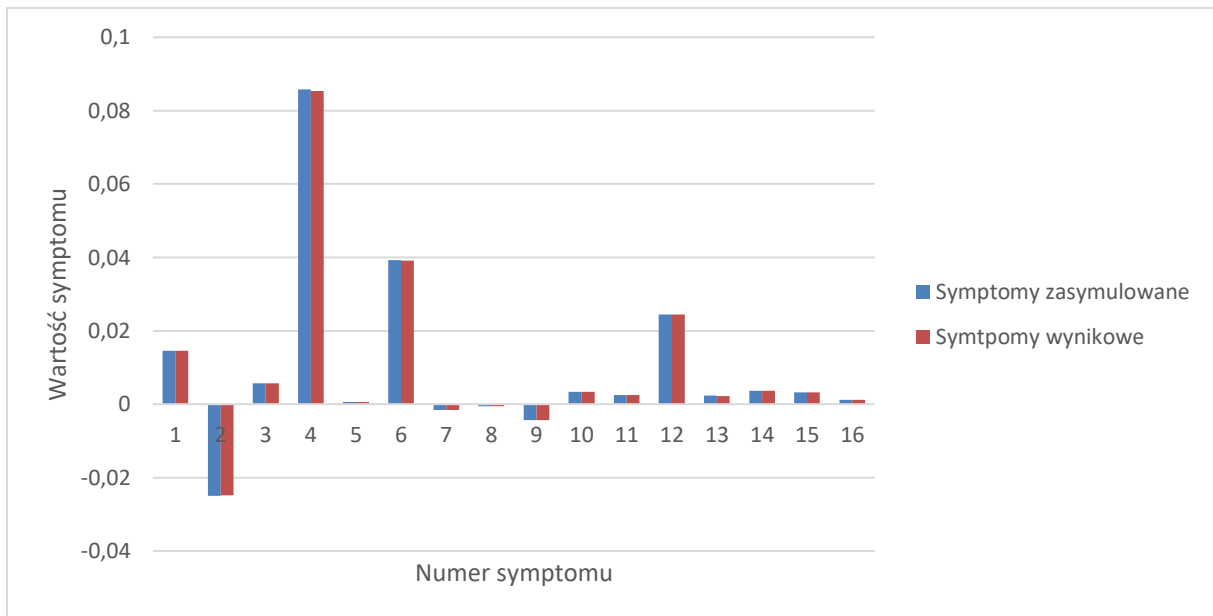
| | | | | | | |
|-------------------------|----|----------|----------|---------|----------|---------|
| Ciśnienie w upuście 7 | 15 | 0,18069 | 0,18126 | 0,00314 | 0,18126 | 0,00314 |
| Temperatura w upuście 7 | 16 | 57,90795 | 57,97564 | 0,00117 | 57,97534 | 0,00116 |



Rys. 53 Syndrom dla symulowanej poczwórnej degradacji dla wartości 18% wartości luzu w uszczelnieniu skrzynki dyszowej zaworu regulacyjnego WP, 38% luzu w uszczelnieniu zewnętrznym kadłuba WP, 42% luzu w uszczelnieniach 1 GS WP, 25% luzu w uszczelnieniach 5 GS SP.



Rys. 54 Syndrom dla poszukiwania poczwórnej degradacji (19% luzu w uszczelnieniu skrzynki dyszowej zaworu regulacyjnego WP, 35% luzu w uszczelnieniu zewnętrznym kadłuba WP, 40% luzu w uszczelnieniach 1 GS WP, 25% luzu w uszczelnieniach 5 GS SP oraz 17% krawędzi spływowych profili 1 GS WP).



Rys. 55 Porównanie otrzymanych charakterystyk degradacji oraz poszukiwania jej dla 18% wartości luzu w uszczelnieniu skrzynki dyszowej zaworu regulacyjnego WP, 38% luzu w uszczelnieniu zewnętrznym kadłuba WP, 42% luzu w uszczelnieniach 1 GS WP, 25% luzu w uszczelnieniach 5 GS SP.

Uwagi odnoszące się do sposobów prezentacji zamieszczone za rys. 19 (str.40) dotyczą również toku postępowania diagnostycznego w tym kolejnym przypadku. W tab. 35 zamieszczonej poniżej zademonstrowano lokalizację i identyfikację jako wyniki diagnozy w omawianym przypadku zgodnie z przywołanymi powyżej uwagami. Podobnie jak w poprzednio Lokalizację opisuje znacznik lokalizacji „X” na siatce przyczyn degradacji, zaś identyfikację degradacji opisuje procentowa wartość zadanego lub znalezionej wartości degradacji parametru geometrycznego turbiny.

Tworzona procedura diagnostyczna pozwoliła w również i w tym analizowanym przypadku na poprawne zdiagnozowanie i lokalizacji i identyfikacji poczwórnej degradacji. Należy tu zwrócić uwagę na poprawną lokalizację degradacji. Wynik poprawnej lokalizacji i tu gra ważną rolę dla operatorów bloków energetycznych przy planowaniu wspomnianych już poprzednio akcji serwisowych lub remontowych.

Tab. 35 Lokalizacja i identyfikacja przyczyn degradacji dla przypadku pierwszego poczwórnej degradacji.

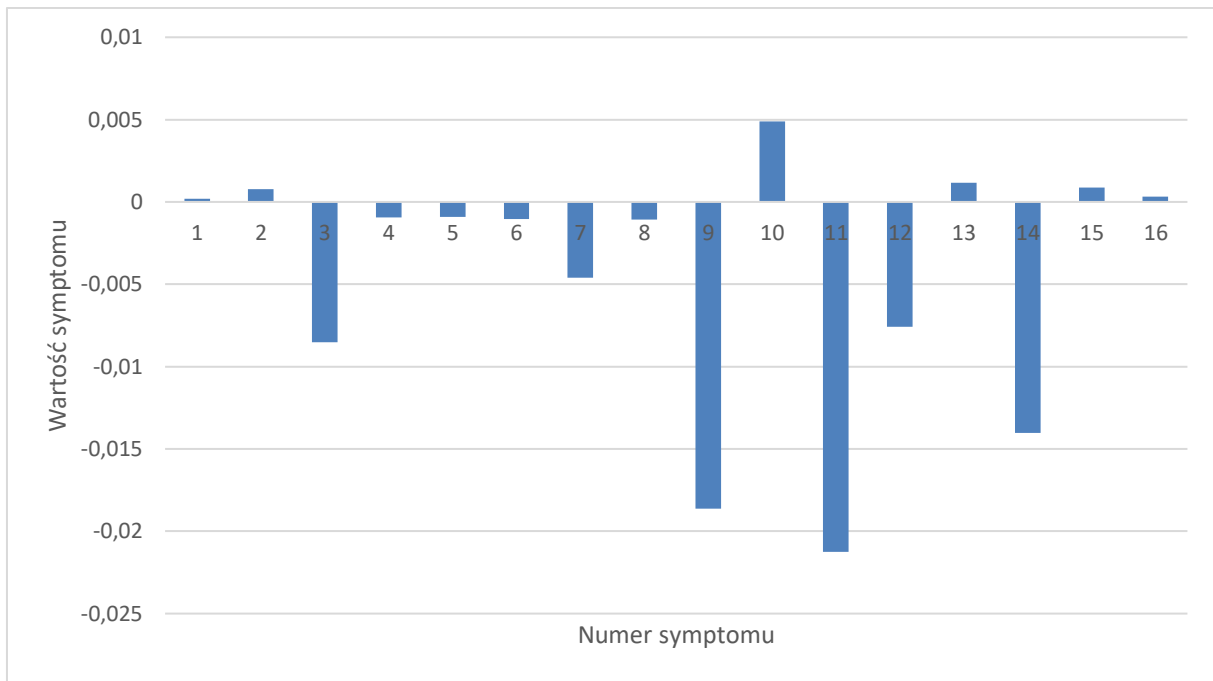
| Wyróżniki potencjalnych przyczyn degradacji | | | 01 | 02 | 03 | 04 | 05 | 06 | 07 | 08 | 09 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | | | |
|---|----------|----------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|--|--|---------------|
| pojedyncze | zadane | znacznik lokalizacji | X | X | X | | | | | | | | | | | | | | X | | | | | | | | |
| | | degradacja proc. | 18 | 38 | 42 | | | | | | | | | | | | | | | 25 | | | | | | | |
| | diagnoza | znacznik lokalizacji | X | X | X | | | | | | | | | | | | | | | X | | | | | | | lokalizacja |
| | | degradacja proc. | 19 | 35 | 45 | | | | | | | | | | | | | | | 17 | | | | | | | identyfikacja |

Kolejny przykład dotyczy poczwórnej degradacji składającej się z uszkodzenia 54% krawędzi spływowych profili 6 GS SP, 27% krawędzi spływowych profili 5 GS SP, 5% luzu w uszczelnieniu skrzynki dyszowej zaworu regulacyjnego SP, 32% krawędzi spływowych profili 2 GS WP. Wyniki uzyskane dla rozważanego przypadku umieszczono w tab. 36, a syndrom symulacji uszkodzenia geometrii pokazuje rys. 56, natomiast syndrom poszukiwania tej degradacji rys. 57. Syndrom pokazujący szukaną zmianę geometrii składa się z czterech elementów z czego trzy są takie same jak w symulowanym syndromie a jeden jest inny. Takimi samymi zmianami geometrii były krawędzie spływowe profili 6 GS SP (45% wartości uszkodzenia), krawędzie spływowe profili 5 GS SP (28%

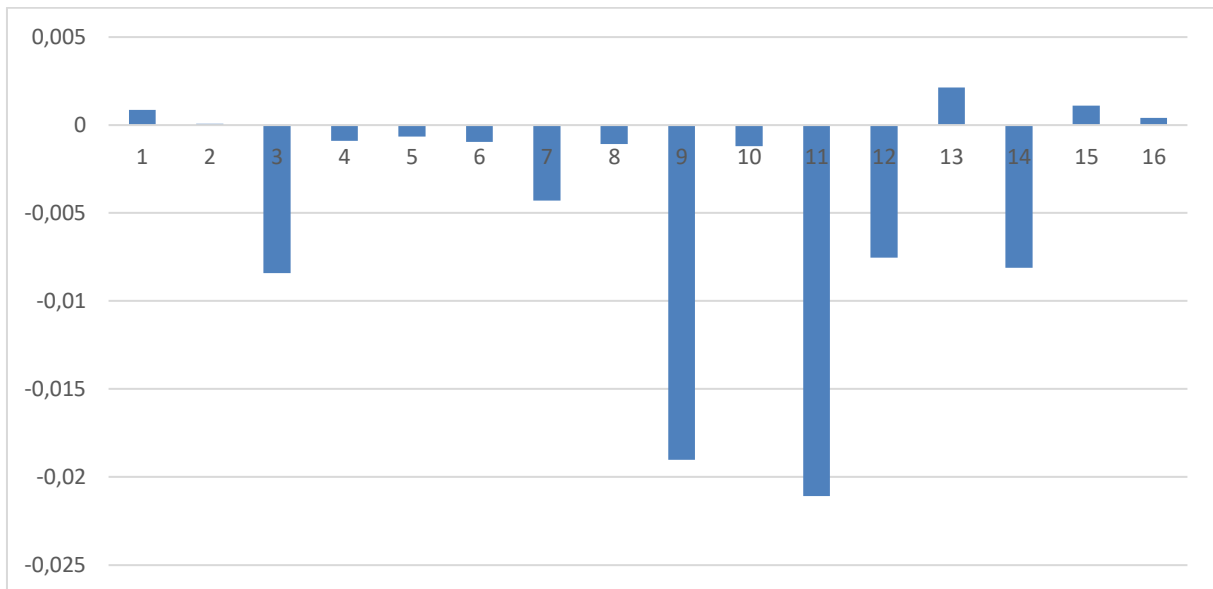
wartości uszkodzenia), krawędzie spływowe profili 2 GS WP (32% wartości uszkodzenia), oraz luz w uszczelnieniach 6 GS SP (29% wartości uszkodzenia). W celu lepszego zobrazowania wyników umieszczono rozważane dwa syndromy na jednym wykresie pokazanym na rys. 58 i widać na nim, że pojawienie się dodatkowego parametru w zamiast zadanego może być spowodowane tym, że symptom dla symulowanej wartości jest dużo większe niż ten sam dla poszukiwania tej degradacji.

Tab. 36 Wyniki dla poczwórnej degradacji składającej się z degradacji na poziomie 54% krawędzi spływowych profili 6 GS SP, 27% krawędzi spływowych profili 5 GS SP, 5% luzu w uszczelnieniu skrzynki dyszowej zaworu regulacyjnego SP, 32% krawędzi spływowych profili 2 GS WP.

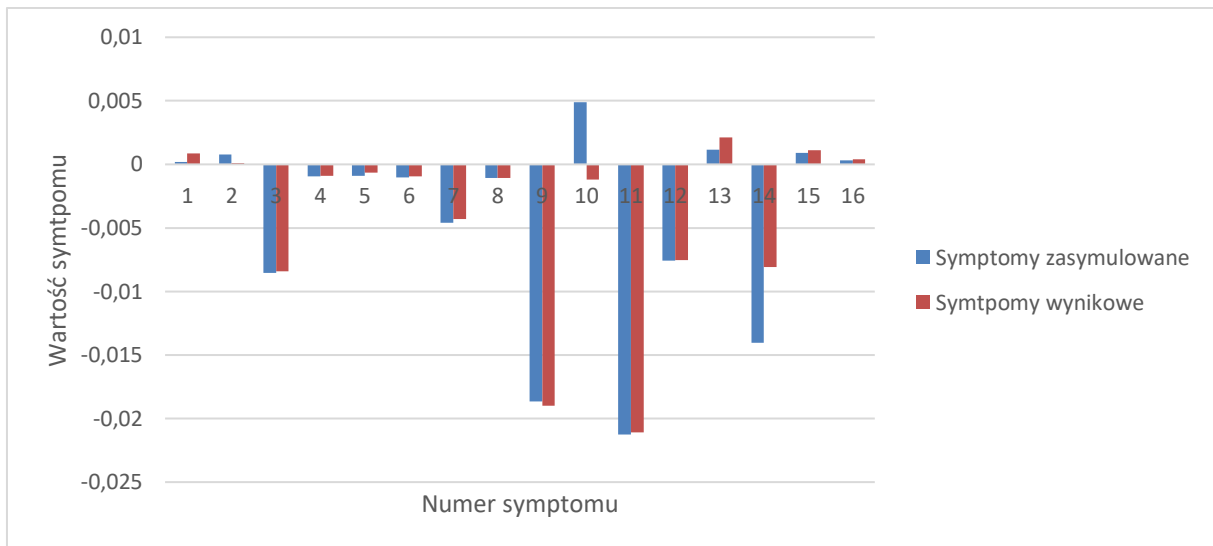
| | Numer symptomu | Wartości referencyjne | Wyniki symulacji dla 8% degradacji | Odchyłka symulacji | Wyniki otrzymane dla poszukiwania degradacji. | Odchyłka poszukiwania degradacji |
|----------------------------|----------------|-----------------------|------------------------------------|--------------------|---|----------------------------------|
| Jednostkowe zużycie ciepła | 1 | 8536,41766 | 8538,11532 | 0,00020 | 8543,66397 | 0,00085 |
| Moc generatora | 2 | 217066,2144 | 217231,99360 | 0,00076 | 217084,78420 | 0,00009 |
| Ciśnienie w upuście 1 | 3 | 217066,21440 | 41,37882 | -0,00853 | 41,38394 | -0,00841 |
| Temperatura w upuście 1 | 4 | 41,73193 | 397,35497 | -0,00094 | 397,36967 | -0,00090 |
| Ciśnienie w upuście 2 | 5 | 397,72850 | 26,90854 | -0,00092 | 26,91542 | -0,00066 |
| Temperatura w upuście 2 | 6 | 26,93320 | 326,03111 | -0,00103 | 326,05670 | -0,00095 |
| Ciśnienie w upuście 3 | 7 | 326,36579 | 12,28309 | -0,00459 | 12,28665 | -0,00430 |
| Temperatura w upuście 3 | 8 | 12,33945 | 455,70372 | -0,00106 | 455,70351 | -0,00106 |
| Ciśnienie w upuście 4 | 9 | 456,18797 | 5,23927 | -0,01864 | 5,23739 | -0,01900 |
| Temperatura w upuście 4 | 10 | 5,33691 | 425,80557 | 0,00490 | 423,21597 | -0,00119 |
| Ciśnienie w upuście 5 | 11 | 423,72003 | 2,81363 | -0,02124 | 2,81410 | -0,02107 |
| Temperatura w upuście 5 | 12 | 2,87339 | 272,89408 | -0,00757 | 272,90323 | -0,00754 |
| Ciśnienie w upuście 6 | 13 | 274,96113 | 1,33509 | 0,00115 | 1,33641 | 0,00214 |
| Temperatura w upuście 6 | 14 | 1,33355 | 260,88822 | -0,01402 | 262,42246 | -0,00810 |
| Ciśnienie w upuście 7 | 15 | 264,54695 | 0,18085 | 0,00088 | 0,18089 | 0,00111 |
| Temperatura w upuście 7 | 16 | 0,18069 | 57,92687 | 0,00033 | 57,93176 | 0,00041 |



Rys. 56 Syndrom dla symulowanej potrójnej degradacji dla wartości 54% krawędzi splywowych profili 6 GS SP, 27 % krawędzi splywowych profili 5 GS SP, 5% luzu w uszczelnieniu skrzynki dyszowej zaworu regulacyjnego SP, 32 % krawędzi splywowych profili 2 GS WP.



Rys. 57 Syndrom dla poszukiwania poczwórnej degradacji (45% krawędzie splywowe profili 6 GS SP, 28% krawędzie splywowe profili 5 GS SP, 32% krawędzie splywowe profili 2 GS, 29% luz w uszczelnieniach 6 GS SP).



Rys. 58 Porównanie otrzymanych charakterystyk degradacji oraz poszukiwania jej dla wartości 54% krawędzi spływowych profili 6 GS SP, 27% krawędzi spływowych profili 5 GS SP, 5% luzu uszczelnieniu skrzynki dyszowej zaworu regulacyjnego SP, 32 % krawędzi spływowych profili 2 GS WP.

Uwagi odnoszące się do sposobów prezentacji zamieszczone za rys. 19 (str. 40) dotyczą również toku postępowania diagnostycznego w tym kolejnym przypadku. W tab. 37 zamieszczonej poniżej zademonstrowano lokalizację i identyfikację jako wyniki diagnozy w omawianym przypadku zgodnie z przywołanymi powyżej uwagami. Podobnie jak w poprzednio Lokalizację opisuje znacznik lokalizacji „X” na siatce przyczyn degradacji, zaś identyfikację degradacji opisuje procentowa wartość zadanego lub znalezionej rozmiaru degradacji parametru geometrycznego turbiny.

Tworzona procedura diagnostyczna pozwoliła w również i w tym analizowanym przypadku na prawie poprawne zdiagnozowanie i lokalizacji i identyfikacji poczwórnej degradacji. Należy tu zwrócić uwagę, podobnie jak w kilku poprzednio komentowanych przypadkach, na znalezienie lokalizacji degradacji dla trzech zadanych parametrów, ale jednocześnie nieodnalezienie jednej lokalizacji oraz na wskazanie niewystępującej lokalizacji. Jak było to powiedziane poprzednio, wynik poprawnej lokalizacji i tu gra ważną rolę dla eksploatatorów bloków energetycznych przy planowaniu wspomnianych już poprzednio akcji serwisowych lub remontowych. Pojawiło się dodatkowe niezastniałe wskazanie i niewykrycie jednego zadanego parametru, co jest najslabszym z wyników działania procedury diagnostycznej. Przy planowaniu remontu eksploatatorzy są w stanie przygotować się do poprawnego wykonania tej operacji, choć prawdopodobnie w czasie bieżącej akcji remontowej wymagane będzie uzupełnienie czynności remontowych. Jednakże mimo tego błędu można uznać osiągnięty rezultat za dopuszczalny. Dodatkowo wskazuje on, że w trakcie diagnozowania ciepło-przepływowego należy brać pod uwagę możliwość chociażby częściowo błędnej diagnozy. Identyfikacja relatywnie poprawna ma w tym przypadku mniejsze znaczenie dla czynności planowania.

Tab. 37 Lokalizacja i identyfikacja przyczyn degradacji dla przypadku drugiego poczwórnej degradacji.

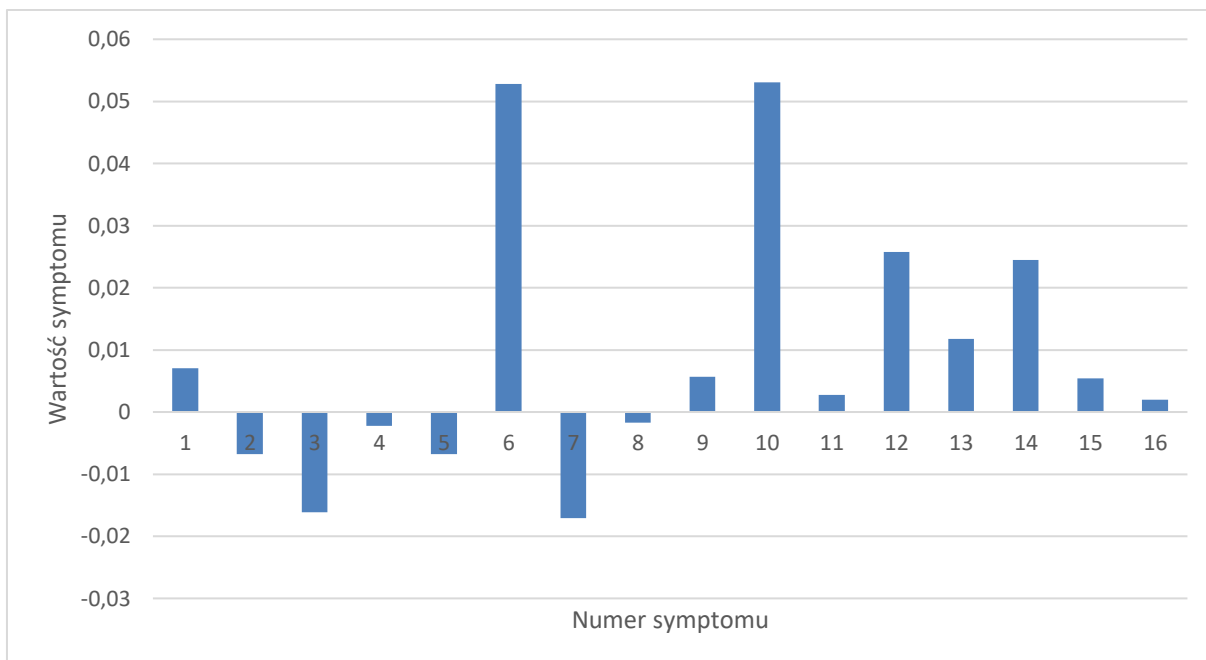
| Wyróżniki potencjalnych przyczyn degradacji | | 01 | 02 | 03 | 04 | 05 | 06 | 07 | 08 | 09 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | | |
|---|----------|---------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|---|-------------|
| pojedyncze | zadane | znaczn. lokalizacji | | | | | | | X | X | | | | | | | | | | | X | | | X | |
| | | degradacja proc. | | | | | | | | 32 | 32 | | | | | | | | | | | 27 | | | 54 |
| | diagnoza | znaczn. lokalizacji | | | | | | | | | X | | | | | | | | | | X | X | | X | Lokalizacja |
| | | degradacja proc. | | | | | | | | | | 32 | | | | | | | | | | 28 | 29 | | 45 |

W tym miejscu pracy przedstawiona zostanie zmiana geometrii turbiny (rys. 59), a dokładniej zmiana jej wybranych elementów o wartość 18% krawędzi spływowych profili 6 GS SP, 65% luzu

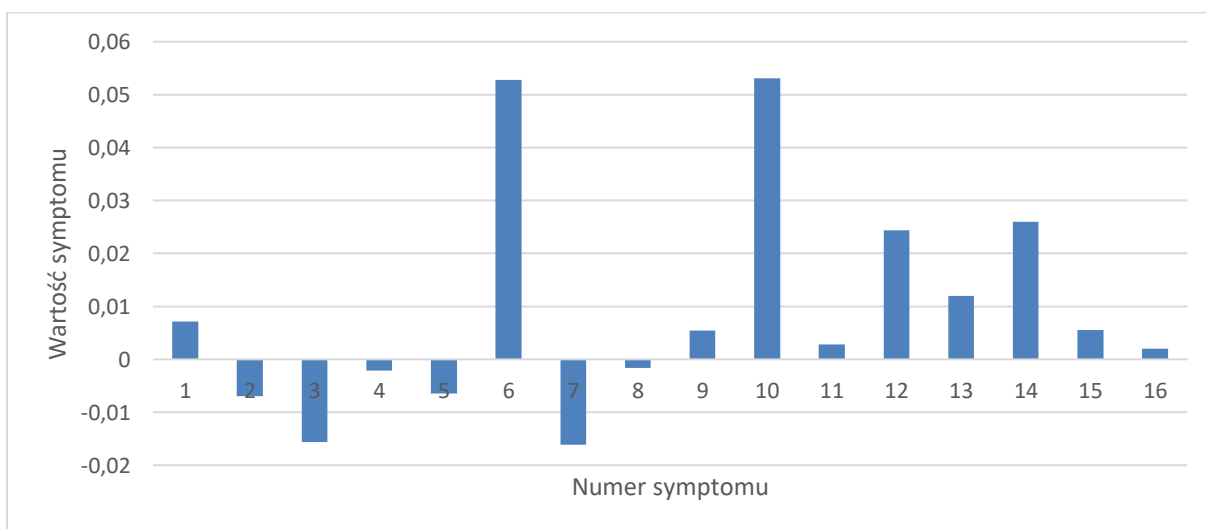
w uszczelnieniach 4 GS SP, 32% luzu w uszczelnieniach 2 GS WP i 15% luzu w uszczelnieniu zewnętrznym kadłuba SP. Wartości symptomów zostały zawarte w tab. 38. Uzyskany wynik pracy obliczeniowej jest po części zadowalający, ponieważ udało się wyszukać wszystkie zasymulowane uszkodzenia, lecz niestety pojawiły się dwa dodatkowe które powiązane są z zasymulowanymi zmianami geometrii a dokładniej przedstawia to rys. 60. Wynikiem poszukiwania symulacji jest 11% krawędzi spływowych profili 6 GS SP, 61% luzu w uszczelnieniach 4 GS SP, 31% luzu w uszczelnieniach 2 GS WP i 7 % luzu w uszczelnieniu zewnętrznym kadłuba SP były to znalezione zasymulowane uszkodzenia oprócz nich syndrom poszukiwania degradacji posiadał 11% zmianę luzu w uszczelnieniu skrzynki dyszowej zaworu regulacyjnego SP, i 22% luzu w uszczelnieniach 6 GS SP. rys. 61 pokazuje różnice jakie występują między nimi poprzez nałożenie na jeden wykres dwóch syndromów.

Tab. 38 Wyniki dla poczwórnej degradacji składającej się z degradacji na poziomie 18% krawędzi spływowych profili 6 GS SP, 65% luzu w uszczelnieniach 4 GS SP, 32% luzu w uszczelnieniach 2 GS WP i 15 % luzu w uszczelnieniu zewnętrznym kadłuba SP.

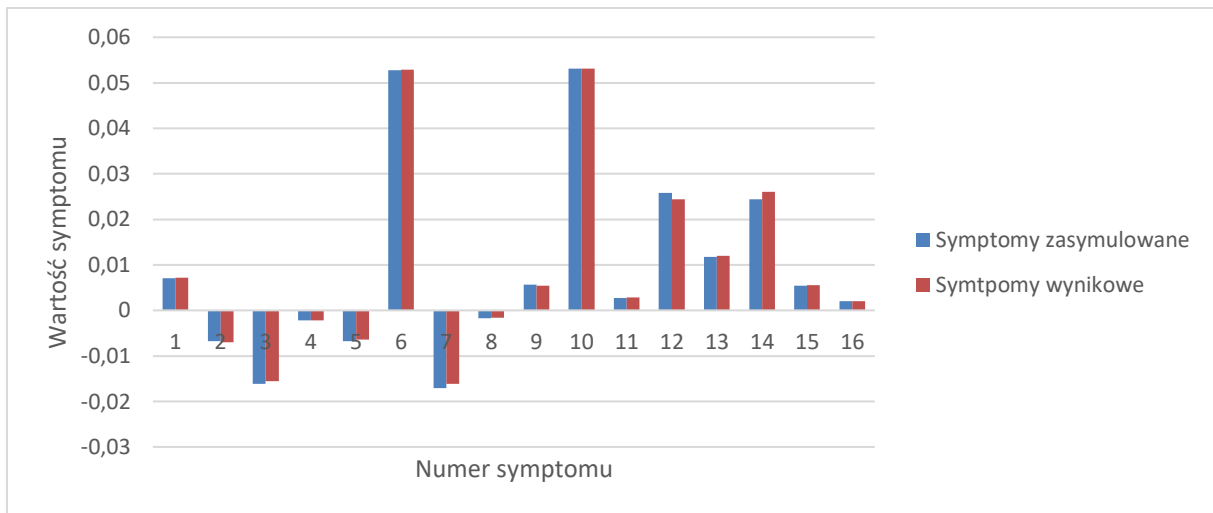
| | Numer symptomu | Wartości referencyjne | Wyniki symulacji dla degradacji | Odchyłka symulacji | Wyniki otrzymane dla poszukiwania degradacji. | Odchyłka poszukiwania degradacji |
|----------------------------|----------------|-----------------------|---------------------------------|--------------------|---|----------------------------------|
| Jednostkowe zużycie ciepła | 1 | 8536,41766 | 8596,64476 | 0,00701 | 8598,08549 | 0,00717 |
| Moc generatora | 2 | 217066,2144 | 215601,47970 | -0,00679 | 215562,21450 | -0,00698 |
| Ciśnienie w upuście 1 | 3 | 41,73193 | 41,06921 | -0,01614 | 41,09086 | -0,01560 |
| Temperatura w upuście 1 | 4 | 397,72850 | 396,84322 | -0,00223 | 396,87786 | -0,00214 |
| Ciśnienie w upuście 2 | 5 | 26,93320 | 26,75084 | -0,00682 | 26,76068 | -0,00645 |
| Temperatura w upuście 2 | 6 | 326,36579 | 344,55327 | 0,05279 | 344,57276 | 0,05284 |
| Ciśnienie w upuście 3 | 7 | 12,33945 | 12,13213 | -0,01709 | 12,14376 | -0,01611 |
| Temperatura w upuście 3 | 8 | 456,18797 | 455,38927 | -0,00175 | 455,43271 | -0,00166 |
| Ciśnienie w upuście 4 | 9 | 5,33691 | 5,36746 | 0,00569 | 5,36630 | 0,00548 |
| Temperatura w upuście 4 | 10 | 423,72003 | 447,46464 | 0,05306 | 447,48885 | 0,05312 |
| Ciśnienie w upuście 5 | 11 | 2,87339 | 2,88128 | 0,00274 | 2,88145 | 0,00280 |
| Temperatura w upuście 5 | 12 | 274,96113 | 282,23871 | 0,02579 | 281,84331 | 0,02442 |
| Ciśnienie w upuście 6 | 13 | 1,33355 | 1,34943 | 0,01177 | 1,34978 | 0,01202 |
| Temperatura w upuście 6 | 14 | 264,54695 | 271,17968 | 0,02446 | 271,60503 | 0,02599 |
| Ciśnienie w upuście 7 | 15 | 0,18069 | 0,18168 | 0,00545 | 0,18169 | 0,00550 |
| Temperatura w upuście 7 | 16 | 57,90795 | 58,02508 | 0,00202 | 58,02564 | 0,00203 |



Rys. 59 Syndrom dla symulowanej poczwórnej degradacji dla wartości 18% krawędzi spływowych profili 6 GS SP, 65% luzu w uszczelnieniach 4 GS SP, 32% luzu w uszczelnieniach 2 GS WP i 15 % luzu w uszczelnieniu zewnętrznym kadłuba SP.



Rys. 60 Syndrom dla poszukiwania poczwórnej degradacji (11% krawędzi spływowych profili 6 GS SP, 61% luzu w uszczelnieniach 4 GS SP, 31% luzu w uszczelnieniach 2 GS WP i 7 % luzu w uszczelnieniu zewnętrznym kadłuba SP, 11% zmianę luzu w uszczelnieniu skrzynki dyszowej zaworu regulacyjnego SP, 22% luzu w uszczelnieniach 6 GS SP).



Rys. 61 Porównanie otrzymanych charakterystyk degradacji oraz poszukiwania jej dla wartości 18% krawędzi spływowych profili 6 GS SP, 65% luzu w uszczelnieniach 4 GS SP, 32% luzu w uszczelnieniach 2 GS WP i 15% luzu w uszczelnieniu zewnętrznym kadłuba SP.

Uwagi odnoszące się do sposobów prezentacji zamieszczone za rys. 19 (str.40) dotyczą również toku postępowania diagnostycznego w tym kolejnym przypadku. W tab. 39 zamieszczonej poniżej zademonstrowano lokalizację i identyfikację jako wyniki diagnozy w omawianym przypadku zgodnie z przywołanymi powyżej uwagami. Podobnie jak w poprzednio Lokalizację opisuje znacznik lokalizacji „X” na siatce przyczyn degradacji, zaś identyfikację degradacji opisuje procentowa wartość zadanego lub znalezionej rozmiaru degradacji parametru geometrycznego turbiny.

Tworzona procedura diagnostyczna pozwoliła w również i w tym analizowanym przypadku na prawie poprawne zdiagnozowanie i lokalizacji i identyfikacji poczwórnej degradacji. Należy tu zwrócić uwagę, podobnie jak w kilku poprzednio komentowanych przypadkach, na znalezienie lokalizacji degradacji dla czterech zadanych parametrów, ale jednocześnie wskazanie innego. Jak było to powiedziane poprzednio, wynik poprawnej lokalizacji i tu gra ważną rolę dla eksploatorów bloków energetycznych przy planowaniu wspomnianych już poprzednio akcji serwisowych lub remontowych. Co prawda pojawiło się dodatkowe niezastniałe wskazanie, ale mimo to przy planowaniu remontu eksploatatorzy są w stanie przygotować się do poprawnego wykonania tej operacji. Identyfikacja relatywnie poprawna ma w tym przypadku mniejsze znaczenie dla czynności planowania.

Tab. 39 Lokalizacja i identyfikacja przyczyn degradacji dla przypadku trzeciego poczwórnej degradacji. .

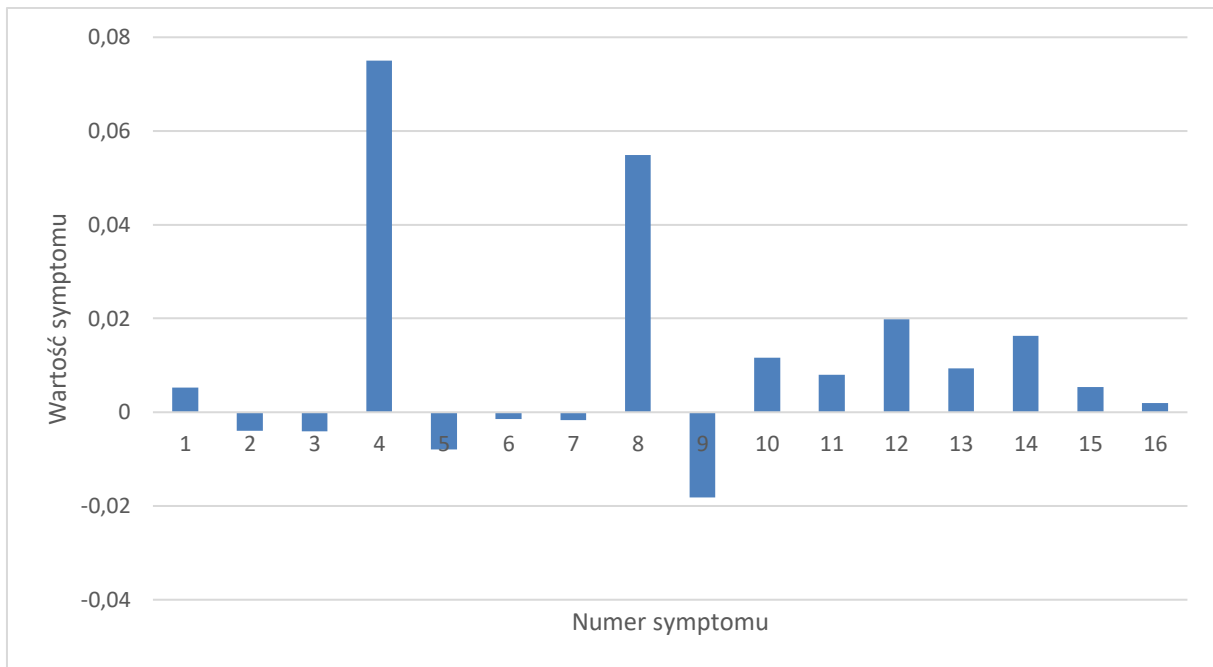
| Wyróżniki potencjalnych przyczyn degradacji | | | 01 | 02 | 03 | 04 | 05 | 06 | 07 | 08 | 09 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | | |
|---|----------|-------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-------------|
| pojedyncze | zadane | znac. lokalizacji | | | | | | X | | | | X | | | | X | | | | | | | | X | | |
| | | degradacja proc. | | | | | | 32 | | | | 15 | | | | | 65 | | | | | | | | 22 | |
| | diagnoza | znac. lokalizacji | | | | | | X | | | | X | | | | X | | | | | | | X | X | | lokalizacja |
| | | degradacja proc. | | | | | | | 31 | | | | 7 | | | | 61 | | | | | | | 22 | 11 | |

Ostatnia poczwórna degradacja została złożona jest z uszkodzenia 51% luzu w uszczelnieniu skrzynki dyszowej zaworu regulacyjnego WP, 25% luzu w uszczelnieniach 3 GS SP, 8% luzu w uszczelnieniach 5 GS SP, 64% krawędzi spływowych profili 5 GS SP. Zasymulowana degradację przedstawia rys. 62, a syndrom poszukujący tego uszkodzenia rys. 63, w celu ich stworzenia posłużono się tab. 40. Syndrom poszukujący degradację został wskazał pięć miejsc w geometrii, gdzie mogło dojść do uszkodzenia są to cztery zasymulowane uszkodzenia do których dołączył luz w uszczelnieniu

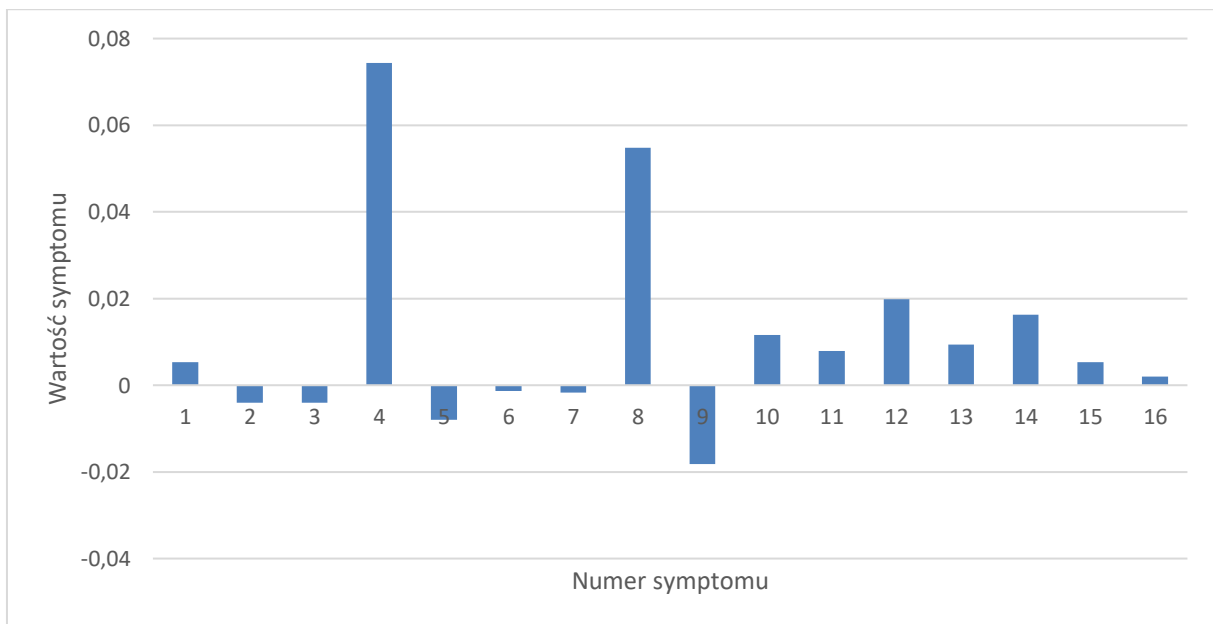
zewnątrznym kadłuba WP, który został uszkodzony na poziomie 35%, tylko jeden parametr geometryczny z czterech zadanych miał inną wartość procentową był to luz w uszczelnieniu skrzynki dyszowej zaworu regulacyjnego WP i wynosił 34%. Uzyskany wynik był bardzo dobry ze względu na odnalezienie zasymulowanych uszkodzeń prawie idealnie a dodatkowy parametr wynikał ze względu na to, że znajduje się on na jednym rurociągu co luz w uszczelnieniu skrzynki dyszowej zaworu regulacyjnego WP i prawdopodobnie doszło do przemieszczenia się pary między kadłubami turbiny. Porównanie obu syndromów pokazano na rys. 64.

Tab. 40 Wyniki dla początkowej degradacji składającej się z degradacji na poziomie 51 % luzu w uszczelnieniu skrzynki dyszowej zaworu regulacyjnego WP, 25% luzu w uszczelnieniach 3 GS SP, 8% luzu w uszczelnieniach 5 GS SP, 64% krawędzi spływowych profili 5 GS SP.

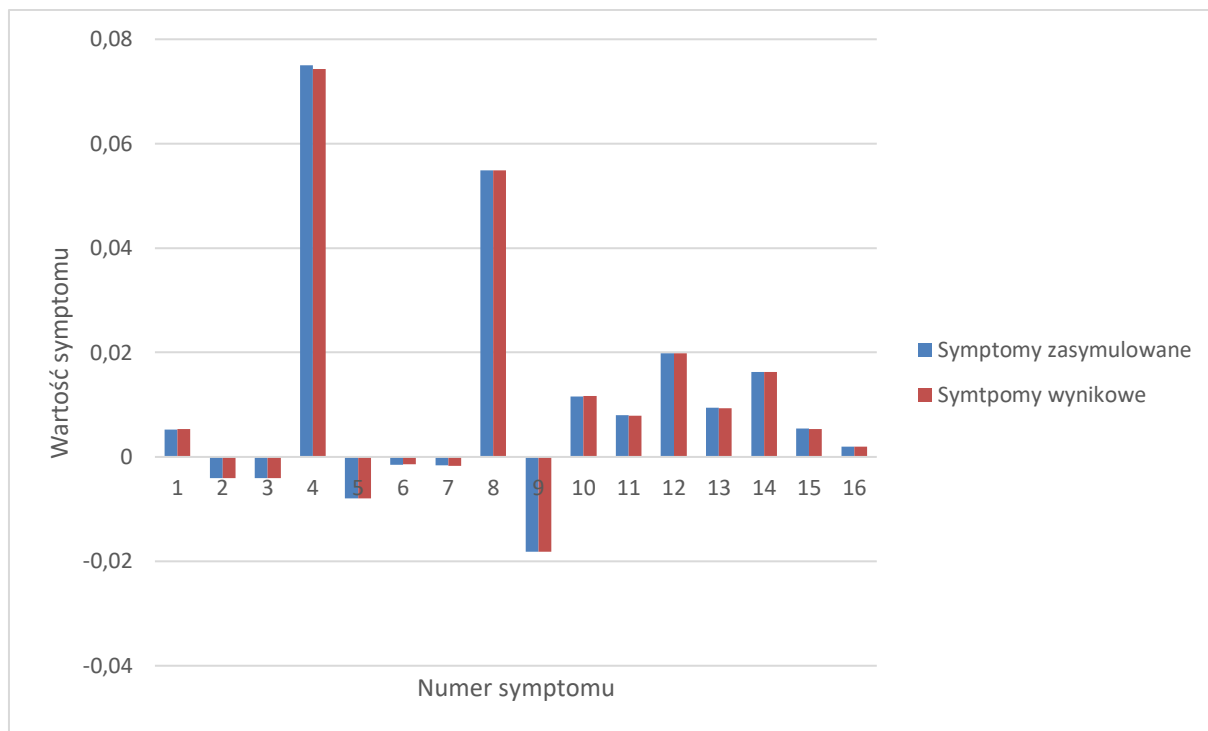
| | Numer symptomu | Wartości referencyjne | Wyniki symulacji dla degradacji | Odchyłka symulacji | Wyniki otrzymane dla poszukiwania degradacji. | Odchyłka poszukiwania degradacji |
|----------------------------|----------------|-----------------------|---------------------------------|--------------------|---|----------------------------------|
| Jednostkowe zużycie ciepła | 1 | 8536,41766 | 8581,60582 | 0,00527 | 8581,89847 | 0,00530 |
| Moc generatora | 2 | 217066,2144 | 216198,70050 | -0,00401 | 216186,06590 | -0,00407 |
| Ciśnienie w upuście 1 | 3 | 41,73193 | 41,56111 | -0,00411 | 41,56199 | -0,00409 |
| Temperatura w upuście 1 | 4 | 397,72850 | 429,98401 | 0,07502 | 429,66259 | 0,07432 |
| Ciśnienie w upuście 2 | 5 | 26,93320 | 26,72073 | -0,00795 | 26,72091 | -0,00794 |
| Temperatura w upuście 2 | 6 | 326,36579 | 325,87817 | -0,00150 | 325,91990 | -0,00137 |
| Ciśnienie w upuście 3 | 7 | 12,33945 | 12,31922 | -0,00164 | 12,31894 | -0,00166 |
| Temperatura w upuście 3 | 8 | 456,18797 | 482,66686 | 0,05486 | 482,65889 | 0,05484 |
| Ciśnienie w upuście 4 | 9 | 5,33691 | 5,24188 | -0,01813 | 5,24170 | -0,01816 |
| Temperatura w upuście 4 | 10 | 423,72003 | 428,69034 | 0,01159 | 428,70702 | 0,01163 |
| Ciśnienie w upuście 5 | 11 | 2,87339 | 2,89640 | 0,00794 | 2,89628 | 0,00790 |
| Temperatura w upuście 5 | 12 | 274,96113 | 280,53470 | 0,01987 | 280,53256 | 0,01986 |
| Ciśnienie w upuście 6 | 13 | 1,33355 | 1,34620 | 0,00940 | 1,34613 | 0,00935 |
| Temperatura w upuście 6 | 14 | 264,54695 | 268,92110 | 0,01627 | 268,91880 | 0,01626 |
| Ciśnienie w upuście 7 | 15 | 0,18069 | 0,18167 | 0,00539 | 0,18166 | 0,00534 |
| Temperatura w upuście 7 | 16 | 57,90795 | 58,02370 | 0,00199 | 58,02265 | 0,00198 |



Rys. 62 Syndrom dla symulowanej poczwórnej degradacji dla wartości 51% luzu w uszczelnieniu skrzynki dyszowej zaworu regulacyjnego WP, 25% luzu w uszczelnieniach 3 GS SP, 8% luzu w uszczelnieniach 5 GS SP, 64% krawędzi spływowych profilu 5 GS SP.



Rys. 63 Syndrom dla poszukiwania poczwórnej degradacji (34 % luzu w uszczelnieniu skrzynki dyszowej zaworu regulacyjnego WP, 25% luzu w uszczelnieniach 3 GS SP, 8% luzu w uszczelnieniach 5 GS SP, 64% krawędzi spływowych profilu 5 GS SP, 35% luzu w uszczelnieniu zewnętrznym kadłuba WP).



Rys. 64 Porównanie otrzymanych charakterystyk degradacji oraz poszukiwania jej dla wartości 51 % luzu w uszczelnieniu skrzynki dyszowej zaworu regulacyjnego WP, 25% luzu w uszczelnieniach 3 GS SP, 8% luzu w uszczelnieniach 5 GS SP, 64% krawędzi spływowych profili 5 GS SP.

Uwagi odnoszące się do sposobów prezentacji zamieszczone za rys. 19 (str. 40) dotyczą również toku postępowania diagnostycznego w tym kolejnym przypadku. W tab. 41 zamieszczonej poniżej zademonstrowano lokalizację i identyfikację jako wyniki diagnozy w omawianym przypadku zgodnie z przywołanymi powyżej uwagami. Podobnie jak w poprzednio Lokalizację opisuje znacznik lokalizacji „X” na siatce przyczyn degradacji, zaś identyfikację degradacji opisuje procentowa wartość zadanego lub znalezionej rozmiaru degradacji parametru geometrycznego turbiny.

Tworzona procedura diagnostyczna pozwoliła w również i w tym analizowanym przypadku na prawie poprawne zdiagnozowanie i lokalizacji i identyfikacji poczwórnej degradacji. Należy tu zwrócić uwagę, podobnie jak w kilku poprzednio komentowanych przypadkach, na znalezienie lokalizacji degradacji dla czterech zadanych parametrów, ale jednocześnie wskazanie innego. Jak było to powiedziane poprzednio, wynik poprawnej lokalizacji i tu gra ważną rolę dla eksploatorów bloków energetycznych przy planowaniu wspominanych już poprzednio akcji serwisowych lub remontowych. Co prawda pojawiło się dodatkowe niezastniałe wskazanie, ale mimo to przy planowaniu remontu eksploatorzy są w stanie przygotować się do poprawnego wykonania tej operacji. Identyfikacja relatywnie poprawna ma w tym przypadku mniejsze znaczenie dla czynności planowania.

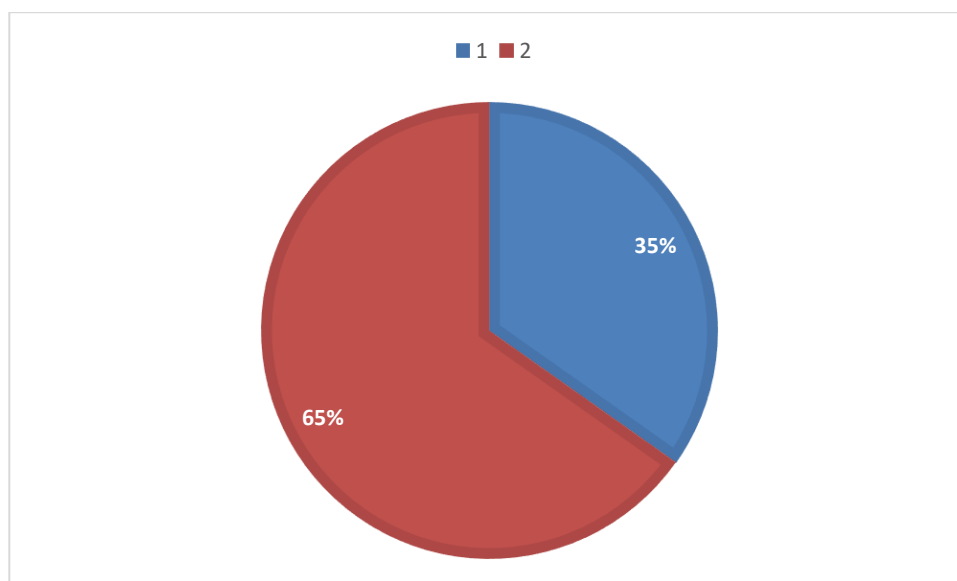
Tab. 41 Lokalizacja i identyfikacja przyczyn degradacji dla przypadku czwartego poczwórnej degradacji.

| Wyróżniki potencjalnych przyczyn degradacji | | 01 | 02 | 03 | 04 | 05 | 06 | 07 | 08 | 09 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | | | |
|---|----------|----------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|--|--|-------------|
| pojedyncze | zadane | znacznik lokalizacji | X | | | | | | | | X | | | | | | | X | | X | | | | | | |
| | | degradacja proc. | 51 | | | | | | | | | 25 | | | | | | | 8 | | 64 | | | | | |
| | diagnoza | znacznik lokalizacji | X | X | | | | | | | | X | | | | | | | X | | X | | | | | lokalizacja |
| | | degradacja proc. | 34 | 34 | | | | | | | | | 25 | | | | | | | 8 | | 64 | | | | |

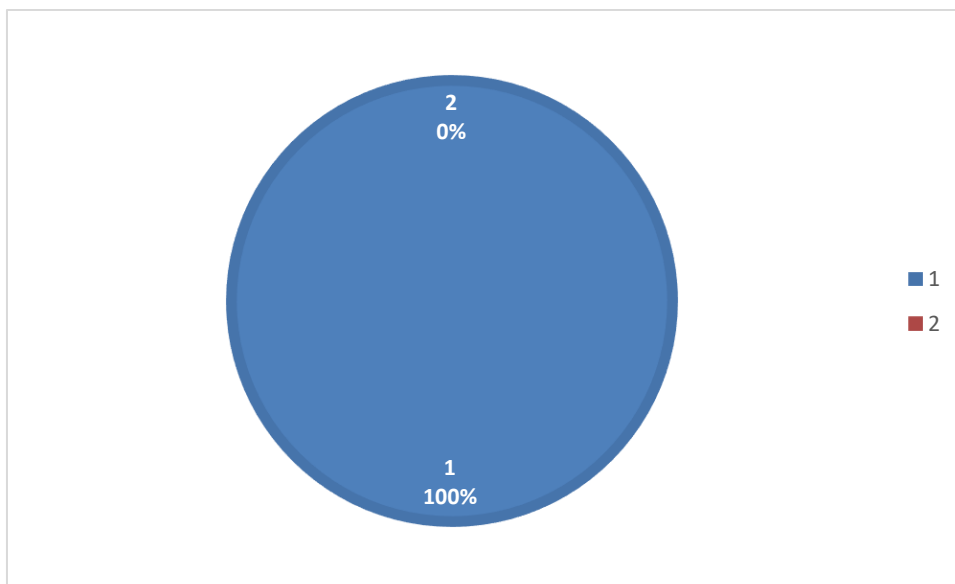
7.5 Analiza otrzymanych wyników

W pracy dokonano analizy statystycznej otrzymanych wyników. Analiza ta została przeprowadzona tylko na pewnym zbiorze zasymulowanych uszkodzeń, wynika to z liczby możliwych kombinacji występującym na degradujących się elementach turbiny. Na początku wybrano 22 parametry geometryczne turbiny podlegające degradacji, lecz w trakcie obliczeń okazało się, że parametr związany z chropowatością wywołuje niewielkie zmiany wynikach działania procedury, porównywalne z rozmiarem niepewności pomiarów przemysłowych. 15 degradujących się parametrów geometrycznych. Je właśnie użyto do losowego tworzenia kombinacji dla wielokrotnych degradacji.

W przypadku degradacji jednokrotnych do procesu analizy wykorzystano wszystkie analizowane w dostępnej grupie parametry w liczbie 15, gdzie wielkość uszkodzenia była losowa. Wśród wyników symulacji dokonano sprawdzenia czy udało się znaleźć dokładnie zasymulowane lokalizacje uszkodzeń następnie czy wartość procentowa zadana i znaleziona były zgodne, a co najwyżej niezbyt od siebie odległe. W tej nielicznej statystycznie grupie stwierdzono, że znalezienie tylko uszkodzonego elementu turbiny wiązało się z bezbłędnym trafieniem w wartość procentową co prezentowane jest na rys. 65. Charakterystyka ta pokazuje, że w 53% udało się dokładnie wyszukać uszkodzonego elementu, a w 47% oprócz symulowanego uszkodzenia znajdowało się inne. Pośród pozostałych w każdym przypadku znajdowało się poszukiwane uszkodzenie co zilustrowano na rys. 66.



Rys. 65 Wartość procentowa odnalezienia uszkodzenia w degradacji jednokrotnych, gdzie: 1 - syndrom składający się z większej liczby elementów geometrycznych niż jeden; 2 - znalezienie poszukiwanego elementu, gdzie posiadał identyczną wartość procentową.



Rys. 66 Wartość procentowa pokazująca czy syndrom składający się z większej liczby elementów geometrycznych niż jeden wskazał zasymulowane uszkodzenie, gdzie 1 posiadał zasymulowane uszkodzenie a 2, że nie.

Całość zbioru scharakteryzowanych powyżej wyników działania zbudowanej procedury diagnostycznej dla pojedynczych degradacji zaprezentowano tabelarycznie w załączniku 6.

Analizy otrzymanych wyników dokonano również dla wielokrotnych degradacji. Rozmiar zestawu rozpatrywanych przypadków był ograniczony i różny dla poszczególnych krotności degradacji. Powodem jest liczebność takich zbiorów i wynikający stąd czas na ich pozyskanie. Liczba możliwych kombinacji degradujących się elementów wyliczana jest jako wariacja bez powtórzeń i przedstawia ją wzór (10). Dla podwójnej degradacji liczba kombinacji wynosi 210, potrójnej 2730, a dla poczwórnej 32760.

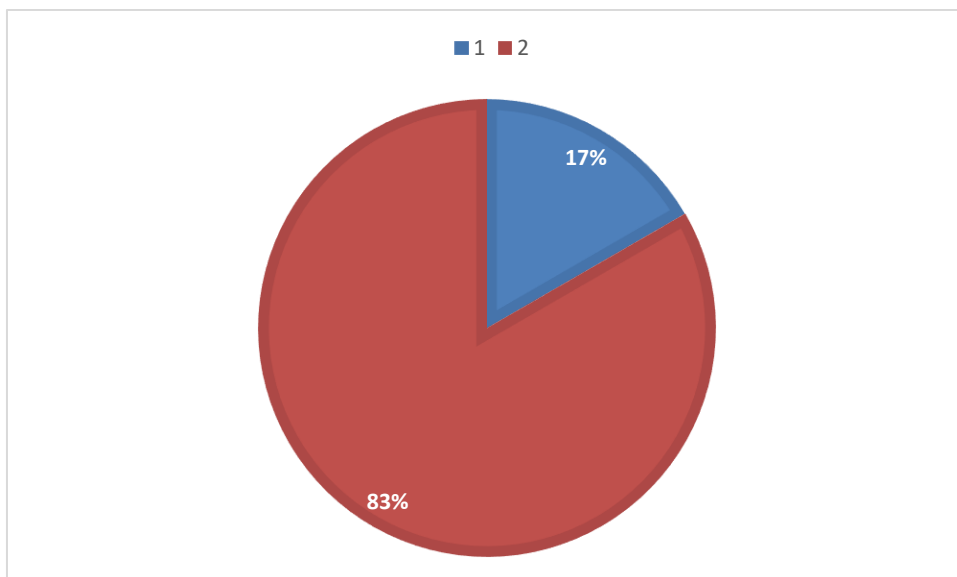
$$V_n^k = \frac{n!}{(n-k)!} \quad (10)$$

gdzie:

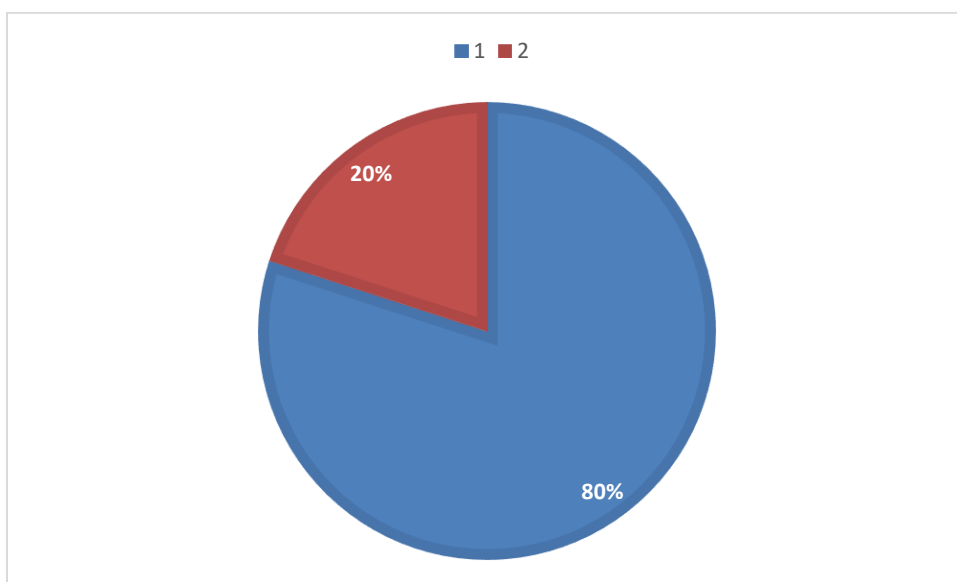
- n jest to liczba 15 i pokazuje ona liczbę degradujących się elementów turbiny;
- k liczba rozważanych degradacji.

Wyliczona liczba kombinacji (mimo, że bez powtórzeń) bierze pod uwagę wystąpienie tylko jednego rozmiaru degradacji. Jeśli chciałoby się pokryć kombinacje w całym zakresie zmienności lokalizacji i identyfikacji (rozmiaru) degradacji te liczby osiągnęłyby ekstremalnie wielkie wartości.

Analiza dla podwójnej degradacji pokazała, że dla puli 12 analizowanych różnych przykładów udało się od razu wyszukać uszkodzone elementy i wartość procentowa wynosiła 16,67%, co skutkowało tym, że z 83,33% skutecznością nie udało się od razu odnaleźć tylko poszukiwanych dwóch uszkodzeń a wynikowy syndrom posiadał dodatkowe degradacje pokazuje rys. 67. Pośród wyników które posiadały dodatkowe uszkodzenie 80% posiadało zasymulowane uszkodzenia a 20% nie, prezentuje to rys. 68. Liczba dodatkowych parametrów wahała się od 1 do 3, przy czym występowały przypadki, gdzie uszkodzenia miało wartość 1-3% co prawdopodobnie wywołane jest błędem numerycznym.



Rys. 67 Wartość procentowa dla trafienia w degradacjach dwukrotnych, gdzie: 1 - syndrom składający się z większej liczby elementów geometrycznych niż dwa; 2 - znalezienie dokładnie tylko poszukiwanych lokalizacji zdegradowanych elementów.

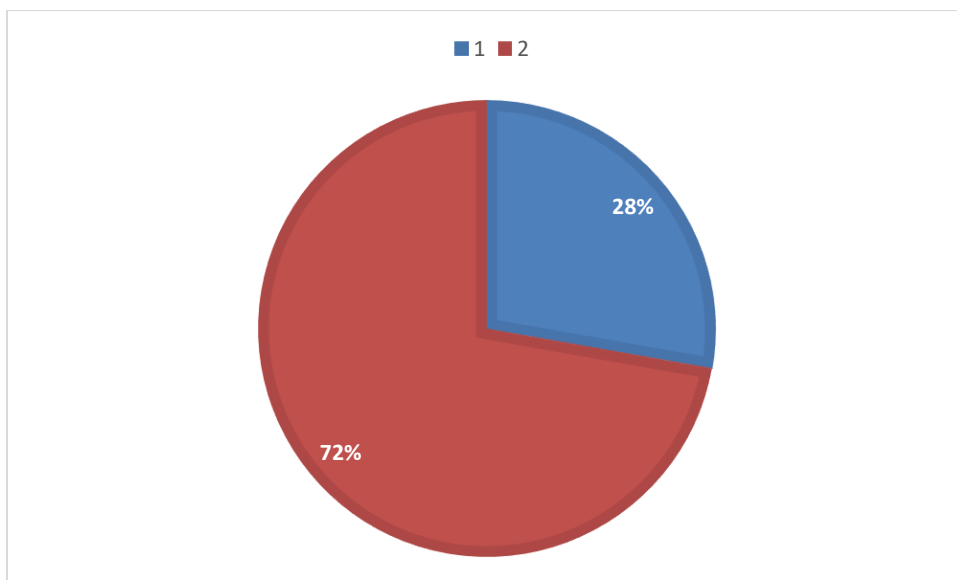


Rys. 68 Wartość procentowa pokazująca czy syndrom składający się z większej liczby elementów geometrycznych niż dwa posiadał zasymulowane uszkodzenie, gdzie 1 posiadał zasymulowane uszkodzenie a 2, że nie.

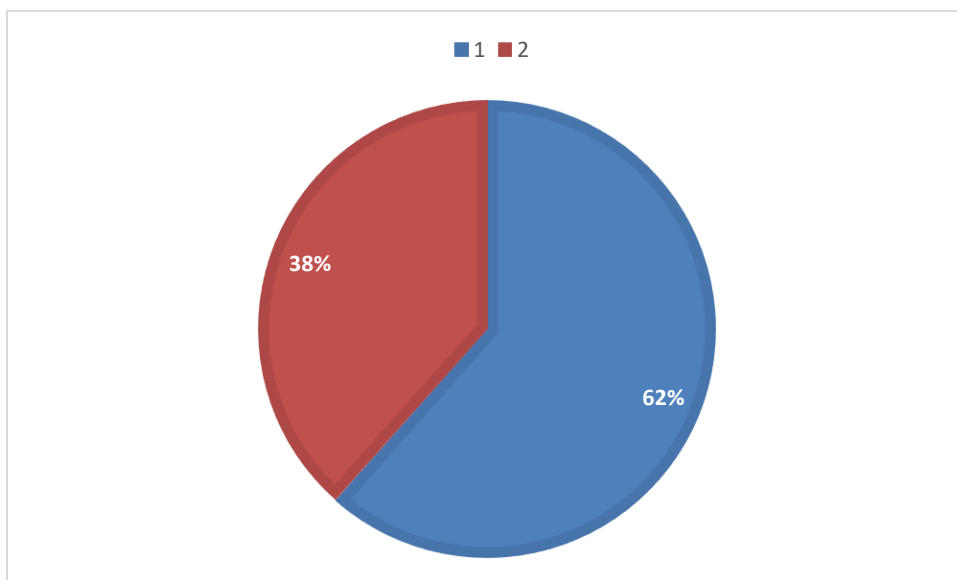
Całość zbioru scharakteryzowanych powyżej wyników działania zbudowanej procedury diagnostycznej dla podwójnych degradacji zaprezentowano tabelarycznie w załączniku 7.

Przypadek potrójnych degradacji pokazał, że odnalezienie tylko trzech zasymulowanych uszkodzeń udało się osiągnąć ze skutecznością 28%, a większą liczbę uszkodzeń posiadało 72% co pokazuje rys. 69. W puli syndromów składających się z większej liczby elementów uszkodzonych niż trzy udało się osiągnąć 62% wyszukania wszystkich zasymulowanych degradacji elementów geometrii, a niestety nie udało się tego osiągnąć dla 38% (rys. 70). Analiza pokazała, że były przypadki, gdzie wyszukane uszkodzenie miało dokładnie taki sam procent wartości jak wartość zasymulowana. Liczba

dotychczasowych degradujących się elementów oscylowała od 1 do 4, lecz przeważała liczba 2 dodatkowych elementów.



Rys. 69 Wartość procentowa dla trafienia w degradacjach trzykrotnych, gdzie: 1 - syndrom składający się z większej liczby elementów geometrycznych niż trzy; 2 - znalezienie dokładnie tylko poszukiwanych lokalizacji zdegradowanych elementów.

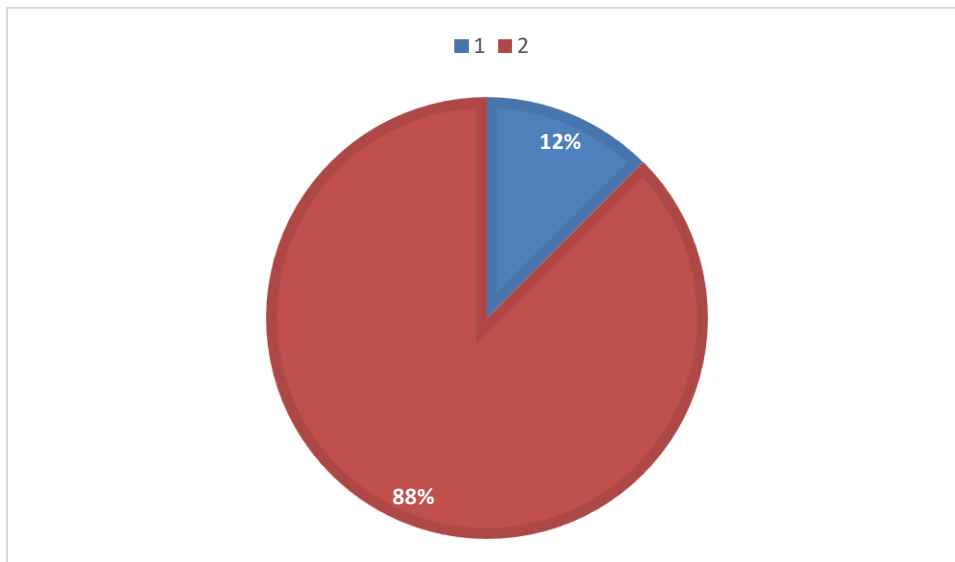


Rys. 70 Wartość procentowa pokazująca czy syndrom składający się z większej liczby elementów geometrycznych niż trzy posiadał zasymulowane uszkodzenie, gdzie 1 posiadał zasymulowane uszkodzenie a 2, że nie posiadał.

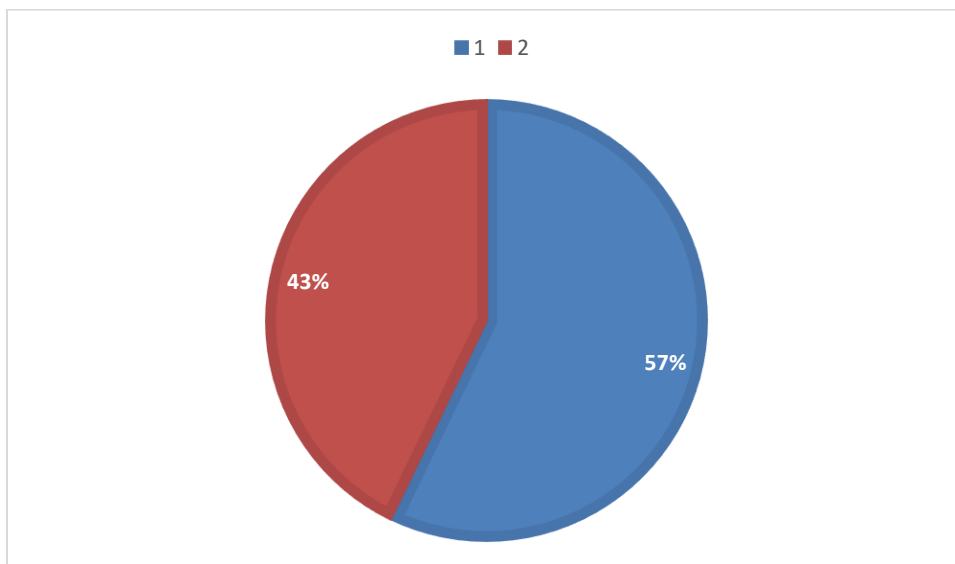
Całość zbioru scharakteryzowanych powyżej wyników działania zbudowanej procedury diagnostycznej dla potrójnych degradacji zaprezentowano tabelarycznie w załączniku 8.

Dla poczwórnych degradacji dokonano takiej samej analizy jak dla przykładów powyżej, pokazała ona, że w tylko dla 12% (rys. 71) udało się wyszukać wszystkie zasymulowane degradujące się elementy. Niestety aż 88% wyszukanych elementów miało większą liczbę niż zadaną, czyli cztery uszkodzenia, z pośród nich 57% posiadało wszystkie zasymulowane uszkodzenia czego nie udało się dokonać dla 43% (rys. 72), co pokazuje, że wraz ze wzrostem liczby uszkodzeń i zwiększeniem ilości

możliwych kombinacji uszkodzeń znalezienie tych zasymulowanych staje się coraz trudniejsze. Liczba dodatkowych elementów była w granicach od 1 do 3, gdzie w większej ilości przypadków były dwa dodatkowe uszkodzenia.



Rys. 71 Wartość procentowa dla trafienia w degradacjach czterokrotnych, gdzie: 1 - syndrom składający się z większej liczby elementów geometrycznych niż cztery; 2- znalezienie dokładnie tylko poszukiwanych lokalizacji zdegradowanych elementów.



Rys. 72 Wartość procentowa pokazująca czy syndrom składający się z większej liczby elementów geometrycznych niż cztery posiadał zasymulowane uszkodzenie, gdzie 1 posiadał zasymulowane uszkodzenie a 2, że nie posiadał.

Całość zbioru scharakteryzowanych powyżej wyników działania zbudowanej procedury diagnostycznej dla poczwórnych degradacji zaprezentowano tabelarycznie w załączniku 9.

8 Podsumowanie

Rozprawa doktorska jest poświęcona opisowi budowania metody diagnostyki ciepłno-przepływowej z wykorzystaniem elementów jednej z procedur sztucznej inteligencji – algorytmów genetycznych. Do tworzenia założeń i algorytmów metody posłużono się przykładem funkcjonowania bloku elektrowni kondensacyjnej ze szczególnym uwzględnieniem układu łopatkowego turbiny parowej. Celem pracy kwalifikacyjnej jest zbudowanie metody diagnostyki ciepłno-przepływowej. Zadaniem metody jest diagnoza pogorszonych parametrów eksploatacyjnych procesu przemian energetycznych bloku energetycznego (np. sprawności) polegająca na detekcji, lokalizacji i identyfikacji przyczyn degradacji urządzeń składowych bloku energetycznego. Stąd ta metoda diagnostyczna będzie wspomagać utrzymanie pracy obiektów energetycznych w stanie relatywnie wysokiej i w miarę możliwości stałej sprawności.

Motywacją do podjęcia badań jest coraz ważniejsza rola procedur diagnostycznych w eksploatacji obiektów energetycznych. Przegląd literaturowy pozwolił między innymi na charakterystykę różnych metod diagnostycznych używanych dotychczas w energetyce, w tym metod opartych o wykorzystanie procedur sztucznej inteligencji. Według najlepszej wiedzy autorki nie zostało opisane w literaturze przedmiotu zastosowanie modeli diagnostycznych bazujących na algorytmach genetycznych dla turbin parowych. To jest powodem opracowania metody pozwalającej na przeprowadzenie procesu diagnostycznego turbin parowych z wykorzystaniem elementów algorytmów genetycznych.

Zbudowana w trakcie pracy kwalifikacyjnej metoda diagnostyczna poszukiwania niesprawności i uszkodzeń jest przewidziana do użycia tylko w procedowaniu off-line. Przyczyną jest relatywnie długi czas działania takiego systemu diagnostycznego (w bardziej skomplikowanych przypadkach kilka godzin). Jest on znacznie dłuższy niż trwający kilka sekund czas dla popularnie stosowanej skutecznej metody diagnostycznej opartej o sztuczne sieci neuronowe. Niestety ta wysoka szybkość ich działania okupiona jest długim czasem (nawet wielomiesięcznym) przygotowania wzorców uczących i samego procesu treningu sztucznych sieci neuronowych. Dodatkowo nawet niewielkie zmiany w konfiguracji obiektu, lub też przeprowadzenie remontu pojedynczego urządzenia składowego obiektu energetycznego w okresie międzyremontowym, powodują zawsze konieczność przygotowania nowych wzorców i dodatkowego treningu. Zbudowana metoda diagnostyki z wykorzystaniem algorytmów genetycznych prawie eliminuje konieczność takich akcji pod warunkiem użycia poprawnego modelu obliczeniowego obiektu energetycznego bezproblemowo i szybko strojonego do wyników łatwo dostępnych i uaktualnianych nowych pomiarów referencyjnych. Zaproponowany w pracy model diagnostyczny jest na tyle uniwersalny, że po zmianie schematu badanego obiektu i dopracowaniu modelu można go zastosować do innych obiektów energetycznych np. turbin gazowych.

Badania nad zastosowaniem metod algorytmów genetycznych (AG) dla celów diagnostyki ciepłno-przepływowej pokazały, że wprowadzenie oryginalnej procedury AG zaproponowanej przez Hollanda i Goldberga nie przyniosło najlepszych rezultatów. Dotyczy to zwłaszcza procedury selekcji, która w oryginale polega na zastosowaniu losowego wyboru osobników i populacji do kolejnych iteracji poszukiwania ekstremum kończącego AG. O ile ta oryginalna procedura sprawdziła się, co prawda z mierną dokładnością, dla degradacji jednokrotnych, to trwała zbyt długo i powodowała niejednoznaczności dla degradacji wielokrotnych. Tymczasem degradacje wielokrotne są bardziej prawdopodobne dla obiektów przemysłowych niż jednokrotne. To wymusiło modyfikację procedury selekcji. Intensywne badania doprowadziły do usprawnienia procedury selekcji zapewniającej zadowalającą dokładność osiągnięcia celu diagnostycznego dla wszystkich testowanych degradacji wielokrotnych aż do degradacji poczwórnych. To usprawnienie polega na nieograniczaniu się jedynie do losowości wyboru, ale dodaniu warunków wstępnych wynikających z podobieństwa zadanego (w przypadku rzeczywistej siłowni – pomiarowego) syndromu do najbardziej zbliżonego syndromu degradacji pojedynczej. Opracowane tego usprawnienia zarówno algebraicznie jak i numerycznie należy do najlepszych oryginalnych osiągnięć w prezentowanej pracy kwalifikacyjnej.

Ze względu na czas potrzebny do wykonania ostatecznych testów zaprezentowano w rozprawie wybrane spośród nich. zilustrowano ich charakterystyki w rozdziale 7.5. Dotyczą one degradacji jednokrotnych, dwukrotnych, trzykrotnych i czterokrotnych. Liczebność poszczególnych prób nie jest duża, ale pozwala ocenić dokładność i jakość zbudowanej metody diagnostyki ciepłno-przepływowej. Pokazują one, że należy się liczyć z pojawieniem się błędnych diagnoz. Zaobserwowane błędy dotyczą

różnych ich postaci. Niektóre z nich nie powodują specjalnych problemów dla eksploatorów bloków energetycznych.

Do najmniej kłopotliwych należą te błędy, które polegają na pokazaniu w diagnozie takich zdegradowanych elementów bloku, które nie są autentycznie zdegradowane. Niedogodność wynikająca z tych błędów sprowadza się do doprowadzenia do prognozowania zbyt szerokiego planu remontu.

Bardziej kłopotliwe błędy polegają na błędnych wskazaniach zdegradowanych i niezdegradowanych urządzeń składowych. Prowadzą one do błędów w planowaniu i konieczność zmian planu remontu w trakcie jego wykonywania, co może być kłopotliwe i z reguły przedłuża remont z powodu konieczności uzupełniania elementów i materiałów do remontu.

Wyniki przedstawione w pracy pokazują że można przeprowadzić proces diagnostyczny turbin parowych z wykorzystaniem elementów algorytmów genetycznych. Wraz ze zwiększeniem liczby degradujących się parametrów zwiększa się stopień trudności rozpoznania degradacji. Związane jest to z rosnącą liczbą możliwych wariacji występujących między uszkodzeniami. Dodatkowo zwiększa się czas potrzebny na przeprowadzenie pełnego procesu diagnostycznego, czyli detekcji, lokalizacji i identyfikacji.

W trakcie prac badawczych rozważano różne sposoby prowadzenia procedury diagnostycznej i długotrwałe testy wskazały ostatecznie, iż tylko jeden z badanych modeli pozwolił na rozpoznawanie degradacji wielokrotnych z dobrą dokładnością.

Najtrudniejszym i najbardziej wymagającym etapem był proces selekcji, który opisano dokładnie w pracy, a także przedstawiono i oceniono różne strategie selekcji rozważane i testowane w trakcie pracy.

Jednym z zagrożeń dla metody, które udało się zauważyć w trakcie prac jest niemożność dokładnego zakończenia procesu diagnostycznego dla parametru geometrycznego reprezentującego chropowatość łopatek. Spowodowane jest to bardzo niewielkimi zmianami symptomów i syndromów powstałych potencjalnie w trakcie pracy obiektu. Z powodu niewielkich ich wartości kryjących się zwykle w niepewnościach pomiaru przemysłowego oraz w niepewności programu obliczeń obiegu DIAGAR (przeprowadzanych w sposób iteracyjny), model obliczeniowy nie jest w stanie ich wykryć. W celu wyeliminowania tej niedogodności należy kontynuować prace nad poprawą zbieżności wykorzystywanego programu numerycznego pracy bloku. To może dawać nadzieję, że w przyszłości uda się przeprowadzić proces diagnostyczny dla pogorszonej chropowatości oraz dla pogorszonych innych parametrów geometrycznych o małym wpływie na charakterystyki doskonałości przemian energetycznych.

Dodatkowo w trakcie prac nad oceną metody zauważono zależność częstego wspólnego występowania w diagnozie degradujących się parametrów geometrycznych w charakterystycznych parach (tab. 9), co wpływa na niejednoznaczność diagnozy. Dotyczy to na przykład, dla rozpatrywanej siłowni, degradacji uszczelnień skrzynek dyszowych i uszczelnień zewnętrznych kadłuba, z których przecieki wpływają do tego samego upustu regeneracyjnego. Spostrzeżenie to w przyszłości może nakierować osoby pracujące w elektrowni, żeby w przypadku remontu jednego elementu geometrycznego przygotować się również na możliwy remont drugiego.

W celu przyspieszenia obliczeń należy zastosować lepszy sprzęt komputerowy, co pozwoli na efektywniejsze wykorzystywanie modelu w rzeczywistych obiektach technicznych czyli elektrowniach i elektrociepłowniach.

Eksploatatorzy którzy używaliby tego modelu mogą uzyskać wydłużenie żywotności swoich maszyn. To na pewno przyczyni się do lepszych wyników ekonomicznych eksploatacji. Mogą wynikać ze zmniejszenia częstotliwości wymuszonych postojów. Jednocześnie wyniki pracy systemu diagnostycznego mogą stanowić informację dla pracowników o przyspieszeniu przeglądu po stwierdzeniu zmian charakterystyk sprawnościowych i skonfrontowaniu ich z rachunkiem ekonomicznym eksploatacji.

Propozycje i sugestie dalszych prac nad rozwojem opracowanej metody diagnostyki ciepło-przepływowej wykorzystującej procedury algorytmów genetycznych:

Dzięki uzyskanym wynikom badań nasuwają się nowe kierunki, które należałoby wykonać w przyszłych badaniach. Dalszy plan prac badawczych obejmuje zagadnienia:

- zmniejszenie błędu numerycznego diagnozy poprzez wykorzystanie nowej wersji programu obliczeń obiegu, np. DIAGAR;
- zwiększenie rozpoznawalności degradacji parametrów geometrycznych kolejnych urządzeń składowych obiektów energetycznych;
- zwiększenie liczby degradujących się parametrów oraz uwzględnienie układów regeneracji obiegów turbin parowych;
- uwzględnienie w badaniach degradacji urządzeń i systemów pomiarowych przemysłowych;
- badania nad skróceniem czasu obliczeń;
- studia nad zastosowaniem metody i programu dla innych obiegów cieplnych współpracujących z turbiną gazową, czy też z układami ORC.

Wskazane kierunki badawcze pozwolą na bardziej efektywne działanie oraz zwiększenie potencjału modelu obliczeniowego i zastosowań diagnostycznych algorytmów genetycznych, co pozwoli na zastosowanie ich dla innych obiektów technicznych.

Bibliografia

- [1] C. G. Gutiérrez-Arriaga, M. Serna-González, J. M. Ponce-Ortega, i M. M. El-Halwagi, „Multi-objective optimization of steam power plants for sustainable generation of electricity”, *Clean Technol. Environ. Policy*, t. 15, nr 4, ss. 551–566, sie. 2013, doi: 10.1007/s10098-012-0556-4.
- [2] S. K. Sobczyk E.J, Kicki J., Jarosz J., Kowalczyk I., „Gospodarka zasobami złóż węgla kamiennego w Polsce w latach 1990-2015”, *Zesz. Nauk. Inst. Gospod. Surowcami Miner. i Energią Pol. Akad. Nauk*, nr 92, ss. 37–56, 2016.
- [3] E. S. Marek Nieć, „Zmiany zasobów złóż paliw kopalnych (kopalin energetycznych) w Polsce w ostatnim półwieczu”, *Zesz. Nauk. Inst. Gospod. Surowcami Miner. i Energią Pol. Akad. Nauk*, nr 96, ss. 201–228, 2016.
- [4] M. S. Zbigniew Kasztelewicz, Miranda Ptak, „Kroki milowe polskiej doktryny energetycznej dla rozwoju branży węgla brunatnego w XXI wieku w Polsce”, *Polityka Energ. - energy policy J.*, t. 19, nr 4, ss. 5–20, 2016.
- [5] M. BARTOSIK, „Polityka i porządek prawny w polskiej energetyce na tle polityki Unii Europejskiej”, *Przegląd elektrotechniczny*, t. 1, nr 9, ss. 289–297, wrz. 2016, doi: 10.15199/48.2016.09.68.
- [6] G. Lidia i U.-B. A. , Mokrzycki E, „Current state and prospects of electricity generation in Poland until 2030”, nr June, ss. 17–21, 2012.
- [7] Barbara Radwanek-Bąk, „Określenie surowców kluczowych dla polskiej gospodarki”, *Zesz. Nauk. Inst. Gospod. Surowcami Miner. i Energią PAN*, nr 96, ss. 241–254, 2016, [Online]. Dostępne na: <https://www.min-pan.krakow.pl/Wydawnictwa/ZN96/17-ZN-14-radwanek.pdf>.
- [8] A. Kielierz, W. Beuch, i R. Marzec, „Węgiel w energetyce zawodowej a polski mikś energetyczny”, nr 105, ss. 85–94, 2018, doi: 10.24425/124380.
- [9] D. Kryzia, L. Gawlik, i M. Peplowska, „Uwarunkowania rozwoju czystych technologii wytwarzania energii z paliw kopalnych”, *Polityka Energ. - energy policy J.*, t. 19, nr 4, ss. 63–74, 2016.
- [10] I. Jonek-Kowalska, „Consolidation as a risk management method in the lifecycle of a mining company: A novel methodological approach and evidence from the coal industry in Poland”, *Resour. Policy*, t. 60, nr October 2018, ss. 169–177, 2019, doi: 10.1016/j.resourpol.2018.12.014.
- [11] R. Szczerbowski, „Wyzwania polskiego sektora wytwórczego do 2030 roku”, *Zesz. Nauk. Inst. Gospod. Surowcami Miner. i Energią Pol. Akad. Nauk*, nr 102, ss. 203–216, 2018.
- [12] K. Piwowarczyk-Ściebura i T. Olkuski, „Wdrażanie polityki klimatyczno-energetycznej w TAURON POLSKA ENERGIA S.A.”, *Polityka Energ. - energy policy J.*, t. 19, nr 2, ss. 93–108, 2016, [Online]. Dostępne na: http://yadda.icm.edu.pl/baztech/element/bwmeta1.element.baztech-ba322074-c48a-4e81-882a-b887a1265201/c/piwowarczyki-scibura_olkuski_wdrażanie_19_2_16.pdf.pdf.
- [13] H. Czichos, *Handbook of Technical Diagnostics*, nr Iso 15686. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2013.
- [14] Z. Korczewski, *Diagnostyka eksploatacyjna okrętowych silników spalinowych - tłokowych i turbinowych. Wybrane zagadnienia*. Gdańsk: Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej, 2017.

- [15] Ć. Z. Żółtowski B., *Leksykon Diagnostyki Technicznej*. Bydgoszcz: Wydawnictwo Akademii Techniczno-Rolniczej, 1996.
- [16] C. Cempel, „Descriptive parameters and contradictions in TRIZ methodology for vibration condition monitoring of machines”, *Diagnostyka*, t. 15, nr 2, ss. 51–59, 2014.
- [17] T. Dąbrowski i L. Będkowski, „Diagnozowanie i dozоровanie stanu obiektu eksploatacji”, *Probl. Eksploat.*, t. 2, ss. 7–16, 2010.
- [18] J. Głuch (red), *Cieplno- przepływowe relacje diagnostyczne w ruchowych warunkach przemysłowych*. Gdańsk: Wydział Oceanotechniki i Okrętownictwa PG, 2007.
- [19] J. Głuch, *Metoda diagnostyki cieplno- przepływowej umożliwiająca rozpoznawanie miejsca i stopnia degradacji turbozespołów energetycznych*. Gdańsk: Wydawnictwo PG, 2007.
- [20] J. (Red. Głuch, *O zastosowaniu neuronowych symulatorów przepływu przez kanały łopatkowe turbin do wyznaczania stanu referencyjnego w diagnostyce cieplno- przepływowej*. Gdańsk: Wydawnictwo PG, 2014.
- [21] T. Kowalczyk, J. Głuch, i P. Ziółkowski, „Analysis of Possible Application of High-Temperature Nuclear Reactors to Contemporary Large-Output Steam Power Plants on Ships”, *Polish Marit. Res.*, t. 23, nr 2, ss. 32–41, kwi. 2016, doi: 10.1515/pomr-2016-0018.
- [22] N. Szewczuk-Krypa, M. Drosińska-Komor, J. Głuch, i Ł. Breńkacz, „Comparison analysis of selected nuclear power plants supplied with helium from high-temperature gas-cooled reactor”, *Polish Marit. Res.*, t. 97, nr S1, ss. 204–210, 2018, doi: 10.2478/pomr-2018-0043.
- [23] Ł. Breńkacz, G. Żywica, M. Drosińska-Komor, i N. Szewczuk-Krypa, „The Experimental Determination of Bearings Dynamic Coefficients in a Wide Range of Rotational Speeds, Taking into Account the Resonance and Hydrodynamic Instability”, w *Dynamical Systems in Applications*, t. 249, J. Awrejcewicz, Red. Cham: Springer International Publishing, 2018, ss. 13–24.
- [24] Ł. Breńkacz, „The Experimental Identification of the Dynamic Coefficients of two Hydrodynamic Journal Bearings Operating at Constant Rotational Speed and Under Nonlinear Conditions”, *Polish Marit. Res.*, t. 24, nr 4, ss. 108–115, grudz. 2017, doi: 10.1515/pomr-2017-0142.
- [25] J. Giltler, „Model niezawodnościowy turbinowego spalinowego napędu głównego statku”, *Zesz. Nauk. Politech. Gdańskiej, Bud. Okrętowe*, nr 65, ss. 57–64, 2004.
- [26] M. Jaskólski, A. Reński, i T. Minkiewicz, „Thermodynamic and economic analysis of nuclear power unit operating in partial cogeneration mode to produce electricity and district heat”, *Energy*, t. 141, ss. 2470–2483, 2017, doi: 10.1016/j.energy.2017.04.144.
- [27] A. D. Fentaye, A. T. Baheta, S. I. Gilani, i K. G. Kyprianidis, „A review on gas turbine gas-path diagnostics: State-of-the-art methods, challenges and opportunities”, *Aerospace*, t. 6, nr 7, 2019, doi: 10.3390/aerospace6070083.
- [28] J. Głuch, „Selected problems of determining an efficient operation standard in contemporary heat-and-flow diagnostics”, *Polish Marit. Res.*, t. 16, nr S1(36), ss. 22–28, 2009.
- [29] M. Drosińska-Komor, „Diagnostyka cieplno- przepływowa turbin polegająca na doborze współczynników eksperymentalnych.”, *Mechanik*, nr 7, ss. 193–200, 2015.
- [30] M. Drosińska -Komor i N. Szewczuk-Krypa, „O diagnozowaniu sprawnościowym cieplnych siłowni turbinowych z wykorzystaniem algorytmów genetycznych”, *Mechanik*, nr 7, ss. 680–681, 2016.

- [31] M. Drosińska-Komor i J. Głuch, „O zastosowaniu algorytmów genetycznych do diagnostyki ciepło- przepływowej”, *Adv. Syst. Autom. Diagnostics= Zaawansowane Syst. Autom. i Diagnostyki, Control Comput. Sci.*, nr 12, ss. 181–192, 2015.
- [32] L. L. Macedo, P. Godinho, i M. J. Alves, „Mean-semivariance portfolio optimization with multiobjective evolutionary algorithms and technical analysis rules”, *Expert Syst. Appl.*, t. 79, ss. 33–43, 2017, doi: 10.1016/j.eswa.2017.02.033.
- [33] M. Tabaszewski i C. Cempel, „Using a set of GM (1 , 1) models to predict values of diagnostic symptoms”, *Mech. Syst. Signal Process.*, t. 52–53, ss. 416–425, 2015, doi: 10.1016/j.ymsp.2014.08.013.
- [34] J. Kościelny, „Praktyczne Problemy Diagnostyki Procesów Przemysłowych”, *Pomiary Autom. Robot.*, t. 2, ss. 115–134, 2010.
- [35] M. Fidali, „Metody diagnozowania obiektów technicznych i procesów przemysłowych”, *Fidali, M.*, 2015. [www.axonmedia.pl/konferencje/archiwalne/prezentacje/ Marek Fidali.pdf](http://www.axonmedia.pl/konferencje/archiwalne/prezentacje/MarekFidali.pdf).
- [36] J. Krzyżanowski i J. Głuch, *Diagnostyka ciepło-przepływowa obiektów energetycznych*. Gdańsk: Wydawnictwo Instytutu Maszyn Przepływowych PAN, 2004.
- [37] A. K. S. Jardine, D. Lin, i D. Banjevic, „A review on machinery diagnostics and prognostics implementing condition-based maintenance”, *Mech. Syst. Signal Process.*, t. 20, ss. 1483–1510, 2006, doi: 10.1016/j.ymsp.2005.09.012.
- [38] J. Głuch i J. Ślęzak-Żołna, „Solving problems with patterns for heat and flow diagnostics dedicated for turbine power plants”, *Int Gas Turbine Inst Proc. ASME Turbo Expo 2012*, t. 1, ss. 969–979, 2012.
- [39] M. Plis i H. Rusinowski, „A mathematical model of an existing gas-steam combined heat and power plant for thermal diagnostic systems”, *Energy*, t. 156, ss. 606–619, 2018, doi: 10.1016/j.energy.2018.05.113.
- [40] K. at al Kosowski, *Steam and Gas Turbines. Power Plants*. Alstom, France-Switzerland-United Kingdom-Poland, 2007.
- [41] M. Kościelny, *Diagnostyka zautomatyzowanych procesów przemysłowych*. Warszawa: Akademicka Oficyna Wydawnicza EXIT, 2001.
- [42] H. Rusinowski i G. Szapajko, „Ocena energetyczna eksploatacji bloku ciepłowniczego z turbiną upustowo- kondensacyjną”, *Rynek Energii*, nr 6, ss. 673–682, 2009.
- [43] K. Salahshoor, M. S. Khoshro, i M. Kordestani, „Fault detection and diagnosis of an industrial steam turbine using a distributed configuration of adaptive neuro-fuzzy inference systems”, *Simul. Model. Pract. Theory*, t. 19, nr 5, ss. 1280–1293, 2011, doi: 10.1016/j.simpat.2011.01.005.
- [44] A. Brkovic, D. Gajic, J. Gligorijevic, I. Savic-Gajic, O. Georgieva, i S. Di Gennaro, „Early fault detection and diagnosis in bearings for more efficient operation of rotating machinery”, *Energy*, t. 136, ss. 63–71, 2017, doi: 10.1016/j.energy.2016.08.039.
- [45] Z. Chen, Y. He, F. Chu, i J. Huang, „Evolutionary strategy for classification problems and its application in fault diagnostics”, *Eng. Appl. Artif. Intell.*, t. 16, nr 1, ss. 31–38, luty 2003, doi: 10.1016/S0952-1976(03)00027-7.
- [46] R. Kwidzinski, „Experimental investigation of condensation wave structure in steam-water injector”, *Int. J. Heat Mass Transf.*, t. 91, ss. 594–601, 2015, doi: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2015.08.008.



- [47] J. Głuch, „Fault detection in measuring systems of power plants”, *Polish Marit. Res.*, t. 15, nr 4, ss. 45–51, 2008, doi: 10.2478/v10012-007-0096-8.
- [48] Z. Domachowski, „Specificity of automatic control of microturbines (steam or gas -driven and expanders) in dispersed generation system of heat and electric power”, *Polish Marit. Res.*, t. 16, nr Special, ss. 9–13, 2009, doi: 10.2478/v10012-008-0038-0.
- [49] H. Ma, H. Zhao, L. Wang, Z. Yu, i X. Mao, „Modeling and investigation of a steam-water injector”, *Energy Convers. Manag.*, t. 151, ss. 170–178, lis. 2017, doi: 10.1016/j.enconman.2017.08.068.
- [50] J. Badur, P. Ziółkowski, D. Sławiński, i S. Kornet, „An approach for estimation of water wall degradation within pulverized-coal boilers”, *Energy*, t. 92, ss. 142–152, 2015, doi: 10.1016/j.energy.2015.04.061.
- [51] M. Dzida, „On the possible increasing of efficiency of ship power plant with the system combined of marine diesel engine, gas turbine and steam turbine, at the main engine - steam turbine mode of cooperation”, *Polish Marit. Res.*, t. 16, nr 1, ss. 47–52, sty. 2009, doi: 10.2478/v10012-008-0010-z.
- [52] J. Głuch (red), *O zastosowaniu neuronowych symulatorów przepływu przez kanały łopatkowe turbin do wyznaczania stanu referencyjnego w diagnostyce ciepłno- przepływowej*. Gdańsk: Wydawnictwo PG, 2014.
- [53] M. Drosińska-Komor, N. Szewczuk-Krypa, i J. Głuch, „Wyznaczenie charakterystyk eksploatacyjnych siłowni turbinowej o mocy 400 MW z reaktorem wysokotemperaturowym w zmiennych warunkach pracy.”, *Przegląd Mech.*, nr 6, ss. 45–47, 2017.
- [54] A. J. Volponi, „Foundation of Gas Path Analysis” VKI Lectures GAS TURBINE FAULT DIAGNOSIS, Ed. Sieverding & Mathioudakis, ISSN0377-8312, Bruxelles 2003”, s. 8312, 2003.
- [55] P. Ziółkowski, J. Badur, i P. J. Ziółkowski, „An energetic analysis of a gas turbine with regenerative heating using turbine extraction at intermediate pressure - Brayton cycle advanced according to Szewalski’s idea”, *Energy*, t. 185, ss. 763–786, 2019, doi: 10.1016/j.energy.2019.06.160.
- [56] P. Madejski i P. Żymełka, „Calculation methods of steam boiler operation factors under varying operating conditions with the use of computational thermodynamic modeling”, *Energy*, t. 197, 2020, doi: 10.1016/j.energy.2020.117221.
- [57] T. Kowalczyk, J. Badur, i P. Ziółkowski, „Comparative study of a bottoming SRC and ORC for Joule–Brayton cycle cooling modular HTR exergy losses, fluid-flow machinery main dimensions, and partial loads”, *Energy*, t. 206, wrz. 2020, doi: 10.1016/j.energy.2020.118072.
- [58] Ł. Kowalczyk, W. Elsner, P. Niegodajew, i M. Marek, „Gradient-free methods applied to optimisation of advanced ultra-supercritical power plant”, *Appl. Therm. Eng.*, t. 96, ss. 200–208, 2016, doi: 10.1016/j.applthermaleng.2015.11.091.
- [59] D. Mikielwicz, J. Wajs, P. Ziółkowski, i J. Mikielwicz, „Utilisation of waste heat from the power plant by use of the ORC aided with bleed steam and extra source of heat”, *Energy*, t. 97, ss. 11–19, 2016, doi: 10.1016/j.energy.2015.12.106.
- [60] K. Salahshoor, M. Kordestani, i M. S. Khoshro, „Fault detection and diagnosis of an industrial steam turbine using fusion of SVM (support vector machine) and ANFIS (adaptive neuro-fuzzy inference system) classifiers”, *Energy*, t. 35, nr 12, ss. 5472–5482, 2010, doi: 10.1016/j.energy.2010.06.001.

- [61] M. Angerer, S. Kahlert, i H. Spliethoff, „Transient simulation and fatigue evaluation of fast gas turbine startups and shutdowns in a combined cycle plant with an innovative thermal buffer storage”, *Energy*, t. 130, ss. 246–257, 2017, doi: 10.1016/j.energy.2017.04.104.
- [62] M. Chen, L. Quan Hu, i H. Tang, „An Approach for Optimal Measurements Selection on Gas Turbine Engine Fault Diagnosis”, *J. Eng. Gas Turbines Power*, t. 137, nr 7, s. 071203, 2015, doi: 10.1115/1.4029171.
- [63] M. Fast i T. Palme, „Application of artificial neural networks to the condition monitoring and diagnosis of a combined heat and power plant”, *Energy*, t. 35, nr 2, ss. 1114–1120, 2010, doi: 10.1016/j.energy.2009.06.005.
- [64] D. Zhou, Q. Yao, H. Wu, S. Ma, i H. Zhang, „Fault diagnosis of gas turbine based on partly interpretable convolutional neural networks”, *Energy*, t. 200, s. 117467, 2020, doi: 10.1016/j.energy.2020.117467.
- [65] H. H. Chang, „Genetic algorithms and non-intrusive energy management system based economic dispatch for cogeneration units”, *Energy*, t. 36, nr 1, ss. 181–190, 2011, doi: 10.1016/j.energy.2010.10.054.
- [66] M. S. Mirhoseini i M. Boroomand, „Multi-objective optimization of hot steam injection variables to control wetness parameters of steam flow within nozzles”, *Energy*, t. 141, ss. 1027–1037, 2017, doi: 10.1016/j.energy.2017.09.138.
- [67] T. Douglas i A. Big-Alabo, „A generic algorithm of sustainability (GAS) function for industrial complex steam turbine and utility system optimisation”, *Energy*, t. 164, ss. 881–897, 2018, doi: 10.1016/j.energy.2018.09.016.
- [68] A. Mehrpanahi, S. Nikbakht Naserabad, i G. Ahmadi, „Multi-objective linear regression based optimization of full repowering a single pressure steam power plant”, *Energy*, t. 179, ss. 1017–1035, 2019, doi: 10.1016/j.energy.2019.04.208.
- [69] A. Ganjehkaviri, M. N. Mohd Jaafar, S. E. Hosseini, i H. Barzegaravval, „Genetic algorithm for optimization of energy systems: Solution uniqueness, accuracy, Pareto convergence and dimension reduction”, *Energy*, t. 119, ss. 167–177, 2017, doi: 10.1016/j.energy.2016.12.034.
- [70] A. Andrearczyk, G. Zywica, L. Brenkacz, i P. Baginski, „Vibration based diagnostics of the multi-stage microturbine operating in the medium temperature ORC system”, *Vibroengineering Procedia*, t. 13, ss. 56–61, 2017, doi: 10.21595/vp.2017.19024.
- [71] C. Angelakis, E. . Loukis, A. . Pouliezos, i G. . Starvrakakis, „A Neural Network-Based Method for Gas Turbine Blading Fault Diagnosis”, *Int. J. Model. Simul.*, t. 21, ss. 51–60, 2001.
- [72] H. Asgari, X. Chen, M. B. Menhaj, i R. Sainudiin, „Artificial neural network-based system identification for a single-shaft gas turbine”, *J. Eng. Gas Turbines Power*, t. 135, nr 9, ss. 1–7, 2013, doi: 10.1115/1.4024735.
- [73] I. Aslanidou, M. Rahman, V. Zaccaria, i K. G. Kyprianidis, „Micro Gas Turbines in the Future Smart Energy System: Fleet Monitoring, Diagnostics, and System Level Requirements”, *Front. Mech. Eng.*, t. 7, nr June, ss. 1–14, 2021, doi: 10.3389/fmech.2021.676853.
- [74] J. Badur, S. Kornet, D. Sławiński, i P. Ziółkowski, „Analysis of unsteady flow forces acting on the thermowell in a steam turbine control stage”, *J. Phys. Conf. Ser.*, t. 760, nr 1, s. 012001, paź. 2016, doi: 10.1088/1742-6596/760/1/012001.
- [75] J. Badur i in., „The effort of the steam turbine caused by a flood wave load”, w *AIP Conference Proceedings*, mar. 2017, t. 1822, s. 020001, doi: 10.1063/1.4977675.

- [76] M. Banaszekiewicz, „On-line monitoring and control of thermal stresses in steam turbine rotors”, *Appl. Therm. Eng.*, t. 94, ss. 763–776, 2016, doi: 10.1016/j.applthermaleng.2015.10.131.
- [77] M. Banaszekiewicz, „Multilevel approach to lifetime assessment of steam turbines”, *Int. J. Fatigue*, t. 73, ss. 39–47, 2015, doi: 10.1016/j.ijfatigue.2014.10.009.
- [78] M. Banaszekiewicz i A. Rehmus-Forc, „Stress corrosion cracking of a 60 MW steam turbine rotor”, *Eng. Fail. Anal.*, t. 51, ss. 55–68, 2015, doi: 10.1016/j.engfailanal.2015.02.015.
- [79] S. G. Barad, P. V. Ramaiah, R. K. Giridhar, i G. Krishnaiah, „Neural network approach for a combined performance and mechanical health monitoring of a gas turbine engine”, *Mech. Syst. Signal Process.*, t. 27, nr 1, ss. 729–742, 2012, doi: 10.1016/j.ymsp.2011.09.011.
- [80] L. Barelli, G. Bidini, i F. Bonucci, „Diagnosis of a turbocharging system of 1 MW internal combustion engine”, *Energy Convers. Manag.*, t. 68, ss. 28–39, 2013, doi: 10.1016/j.enconman.2012.12.013.
- [81] J. Blaut i Ł. Breńkacz, „Application of the teager-kaiser energy operator in diagnostics of a hydrodynamic bearing”, *Eksplot. i Niezawodn.*, t. 22, nr 4, ss. 757–765, 2020, doi: 10.17531/ein.2020.4.20.
- [82] T. V. Breikin, G. G. Kulikov, V. Y. Arkov, i P. J. Fleming, *Dynamic modelling for condition monitoring of gas turbines: Genetic algorithms approach*, t. 38, nr 1. IFAC, 2005.
- [83] A. Butterweck i J. Głuch, „Accuracy Investigations of Turbine Blading Neural Models Applied to Thermal and Flow Diagnostics”, w *Advanced and Intelligent Computations in Diagnosis and Control*, nr May, 2016, ss. 267–274.
- [84] G. Bzymek, J. Badur, i P. Ziółkowski, „Issues to improve the safety of 18K370 steam turbine operation”, *E3S Web Conf.*, t. 13, ss. 1–6, 2017, doi: 10.1051/e3sconf/20171304003.
- [85] A. Dhini, I. Surjandari, B. Kusumoputro, i A. Kusiak, „Extreme learning machine – radial basis function (ELM-RBF) networks for diagnosing faults in a steam turbine”, *J. Ind. Prod. Eng.*, ss. 1–9, mar. 2021, doi: 10.1080/21681015.2021.1887948.
- [86] A. Fentaye, V. Zaccaria, M. Rahman, M. Stenfelt, i K. Kyprianidis, „Hybrid Model-Based and Data-Driven Diagnostic Algorithm for Gas Turbine Engines”, w *Volume 5: Controls, Diagnostics, and Instrumentation; Cycle Innovations; Cycle Innovations: Energy Storage*, wrz. 2020, t. 9, nr May, s. 6, doi: 10.1115/GT2020-14481.
- [87] J. Głuch, „Application of artificial neural networks (ANN) as multiple degradation classifiers in thermal and flow diagnostics”, nr 2, ss. 199–210, 2005.
- [88] J. Głuch i M. Drosińska-Komor, „Neural Modelling of Steam Turbine Control Stage”, w *Advances in Diagnostics of Processes and Systems. Studies in Systems, Decision and Control*, 2021, ss. 117–128.
- [89] B. Kraszewski, G. Bzymek, P. Ziółkowski, i J. Badur, „Extremal thermal loading of a bifurcation pipe”, *AIP Conf. Proc.*, t. 2077, nr February, 2019, doi: 10.1063/1.5091891.
- [90] R. J. Kuo, „Intelligent diagnosis for turbine blade faults using artificial neural networks and fuzzy logic”, *Eng. Appl. Artif. Intell.*, t. 8, nr 1, ss. 25–34, 1995, doi: 10.1016/0952-1976(94)00082-X.
- [91] S. Madhavan, R. Jain, C. Sujatha, i A. S. Sekhar, „Vibration based damage detection of rotor blades in a gas turbine engine”, *Eng. Fail. Anal.*, t. 46, ss. 26–39, 2014, doi: 10.1016/j.engfailanal.2014.07.021.

- [92] E. J. Mo, M. S. Jie, C. S. Kim, i K. W. Lee, „Fault diagnosis in gas turbine engine using fuzzy inference logic”, *Journal of Institute of Control, Robotics and Systems*, t. 14, nr 1. ss. 49–53, 2008, doi: 10.5302/J.ICROS.2008.14.1.049.
- [93] G. Nowak i A. Rusin, „Using the artificial neural network to control the steam turbine heating process”, *Appl. Therm. Eng.*, t. 108, ss. 204–210, 2016, doi: 10.1016/j.applthermaleng.2016.07.129.
- [94] W. M. Salilew, Z. A. Abdul Karim, i A. T. Baheta, „Review on gas turbine condition based diagnosis method”, *Mater. Today Proc.*, mar. 2021, doi: 10.1016/j.matpr.2020.12.1049.
- [95] J. Ślęzak-Żoła, „On the application of the artificial neural network method to a neural simulator of steam turbine power plant”, *Polish Marit. Res.*, t. nr 1, ss. 16–20, 2006.
- [96] J. Ślęzak-Żoła i J. Gluch, *Towards symptoms of degradation in on-line thermal and flow diagnostics of power objects*, t. 6, nr PART 1. IFAC, 2006.
- [97] E. Tsoutsanis, N. Meskin, M. Benammar, i K. Khorasani, „A dynamic prognosis scheme for flexible operation of gas turbines”, *Appl. Energy*, t. 164, ss. 686–701, 2016, doi: 10.1016/j.apenergy.2015.11.104.
- [98] C. Yan, H. Zhang, i L. Wu, „A Novel Real-Time Fault Diagnostic System by Using Strata Hierarchical Artificial Neural Network”, w *2009 Asia-Pacific Power and Energy Engineering Conference*, mar. 2009, ss. 1–4, doi: 10.1109/APPEEC.2009.4918103.
- [99] N. Yang, G. Zhang, i J. Wang, „Research on Knowledge Graph and Bayesian Network in Fault Diagnosis of Steam Turbine”, w *2020 Global Reliability and Prognostics and Health Management (PHM-Shanghai)*, paź. 2020, ss. 1–6, doi: 10.1109/PHM-Shanghai49105.2020.9281007.
- [100] D. Zeng, D. Zhou, C. Tan, i B. Jiang, „Research on model-based fault diagnosis for a gas turbine based on transient performance”, *Appl. Sci.*, t. 8, nr 1, 2018, doi: 10.3390/APP8010148.
- [101] D. Zhang, L. Wang, Q. Hong, i K. Zhang, „Research on Fault Diagnosis of Steam Turbine Based on Bayesian Network”, *J. Phys. Conf. Ser.*, t. 1754, nr 1, 2021, doi: 10.1088/1742-6596/1754/1/012136.
- [102] B. Yang, T. Han, i Y. Kim, „Integration of ART-Kohonen neural network and case-based reasoning for intelligent fault diagnosis”, t. 26, ss. 387–395, 2004, doi: 10.1016/j.eswa.2003.09.009.
- [103] D. Rutkowska, M. Piliński, i L. Rutkowski, *Sieci neuronowe, algorytmy genetyczne i systemy rozmyte*. Warszawa: Wydawnictwo Naukowe PWN, 1997.
- [104] S. O. T. Ogaji, R. Singh, i S. D. Probert, „Multiple-sensor fault-diagnoses for a 2-shaft stationary gas-turbine”, t. 71, ss. 321–339, 2002.
- [105] P. Helt, M. Parol, i P. Piotrowski, *Metody sztucznej inteligencji Przykłady zastosowania w elektroenergetyce*. Warszawa: Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, 2012.
- [106] R. Tadeusiewicz, *Sieci neuronowe*. Warszawa: Akademicka Oficyna Wydawnicza, 1993.
- [107] L. Barelli, G. Bidini, i F. Bonucci, „Diagnosis methodology for the turbocharger groups installed on a 1 MW internal combustion engine”, *Appl. Energy*, t. 86, nr 12, ss. 2721–2730, 2009, doi: 10.1016/j.apenergy.2009.04.034.
- [108] J. L. Liao, F. Yin, Z. H. Luo, B. Chen, D. R. Sheng, i Z. T. Yu, „The parameter identification method of steam turbine nonlinear servo system based on artificial neural network”, *J.*

Brazilian Soc. Mech. Sci. Eng., t. 40, nr 3, ss. 1–10, 2018, doi: 10.1007/s40430-018-1086-8.

- [109] R. B. Joly, S. O. T. Ogaji, R. Singh, i S. D. Probert, „Gas-turbine diagnostics using artificial neural-networks for a high bypass ratio military turbofan engine”, *Appl. Energy*, t. 78, nr 4, ss. 397–418, 2004, doi: 10.1016/j.apenergy.2003.10.002.
- [110] S. Ogaji, S. Sampath, R. Singh, i D. Probert, „Novel approach for improving power-plant availability using advanced engine diagnostics”, *Appl. Energy*, t. 72, nr 1, ss. 389–407, 2002, doi: 10.1016/S0306-2619(02)00018-1.
- [111] D. E. Goldberg, *Genetic Algorithms in Search, Optimisation and Machine Learning*. Inc. Boston, MA, USA: Addison-Wesley Longman Publishing Co., 1989.
- [112] J. Arabas, *Wykłady z algorytmów ewolucyjnych*. Warszawa: Wydawnictwa Naukowo - Techniczne, 2004.
- [113] L. Rutkowski, *Metody i techniki sztucznej inteligencji Inteligencja obliczeniowa*. Warszawa: Wydawnictwo Naukowe PWN, 2005.
- [114] J. Arabas, *Wykłady z algorytmów ewolucyjnych*. Warszawa: Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, 2001.
- [115] L. Rutkowski, *Metody i techniki sztucznej inteligencji*. Warszawa: Wydawnictwo Naukowe PWN, 2012.
- [116] S. M. A. N. Rahim, A. Ahmadpour, S. M. N. R. Abadi, i J. P. Meyer, „CFD-based shape optimization of steam turbine blade cascade in transonic two phase flows”, *Appl. Therm. Eng.*, t. 112, ss. 1575–1589, 2017, doi: 10.1016/j.applthermaleng.2016.10.058.
- [117] K. Amborski, *Podstawy metod optymalizacji*. Warszawa: Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, 2009.
- [118] C. M. Fonseca i P. J. Fleming, „Genetic Algorithms for Multiobjective Optimization: Formulation, Discussion and Generalization, Genetic Algorithms”, *Proc. Fifth Int. Conf.*, nr July, ss. 416–423, 1993, doi: citeulike-article-id:2361311.
- [119] F. Millo, P. Arya, i F. Mallamo, „Optimization of automotive diesel engine calibration using genetic algorithm techniques”, *Energy*, t. 158, ss. 807–819, 2018, doi: 10.1016/j.energy.2018.06.044.
- [120] W. Szkutnik, *Podstawy teoretyczne liniowej optymalizacji zagadnienie transportowe*. Katowice: Wydawnictwo Akademii Ekonomicznej Im. Karola Akademickiego w Katowicach, 2004.
- [121] W. Kim, S. W. Jeon, i Y. Kim, „Model-based multi-objective optimal control of a VRF (variable refrigerant flow) combined system with DOAS (dedicated outdoor air system) using genetic algorithm under heating conditions”, *Energy*, t. 107, ss. 196–204, 2016, doi: 10.1016/j.energy.2016.03.139.
- [122] M. M. Azeem i A. Mohammad, „An Analysis of Applications and Possibilities of Neural Networks (Fuzzy, Logic and Genetic Algorithm) in Finance and Accounting Muhammad”, t. 1, nr 2, ss. 9–18, 2015.
- [123] V. Asadzadeh, M. A. Golkar, i S. M. Moghaddas-Tafreshi, „Economics-based transmission expansion planning in restructured power systems using decimal codification genetic algorithm”, w *2011 IEEE Jordan Conference on Applied Electrical Engineering and Computing Technologies (AEECT)*, grud. 2011, ss. 1–8, doi: 10.1109/AEECT.2011.6132494.

- [124] A. Ghaheri, S. Shoar, M. Naderan, i S. S. Hoseini, „The Applications of Genetic Algorithms in Medicine”, *Oman Med. J.*, t. 30, nr 6, ss. 406–416, lis. 2015, doi: 10.5001/omj.2015.82.
- [125] Y. Hou i Y. Zhao, „Workspace Analysis and Optimization of 3-PUU Parallel Mechanism in Medicine Base on Genetic Algorithm”, *Open Biomed. Eng. J.*, t. 9, nr 1, ss. 214–218, sie. 2015, doi: 10.2174/1874120701509010214.
- [126] J. Arabas, „Approximating the genetic diversity of populations in the quasi-equilibrium state”, *IEEE Trans. Evol. Comput.*, t. 16, nr 5, ss. 632–644, 2012, doi: 10.1109/TEVC.2011.2166157.
- [127] A. Stachurski i A. P. Wierzbowski, *Podstawy optymalizacji*. Warszawa: Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, 2001.
- [128] A. Stachurski, *Wprowadzenie do optymalizacji*. Warszawa: Oficyna Wydawnicza Politechniki Gdańskiej, 2009.
- [129] T. Białaszewski, *Wielokryterialna optymalizacja parametryczna układów z zastosowaniem algorytmów ewolucyjnych*. Gdańsk: Pomorskie Wydawnictwo Naukowo - Techniczne PWNT, 2007.
- [130] J. Lisowski, *Metody optymalizacji*. Gdynia: Wydawnictwo Akademii Morskiej w Gdyni, 2017.
- [131] M. Drosińska-Komor i J. Głuch, „Wyznaczenie charakterystyk eksploatacyjnych przy użyciu programu numerycznego dla siłowni turbinowej z przegrzewem międzystopniowym z klasycznym reaktorem w zmiennych warunkach pracy dla parametrów 28 MPa/550/580 °C.”, *Energ. Probl. Energ. i Gospod. Paliw. – Energ.*, nr 2, ss. 101–104, 2015.
- [132] A. Gardzilewicz, J. Głuch, M. Bogulicz, R. Walkowiak, N. M., i K. J., „Experience in Application of Thermal Diagnostics in the Turow Power Station”, (*CD-ROM*) *ASME IJPGC'2003, IJPGC2003-40017*, 2003.
- [133] M. Drosińska-Komor, „Wyznaczenie charakterystyk eksploatacyjnych siłowni turbinowej z reaktorem wysokotemperaturowym w zmiennych warunkach pracy dla parametrów 28 MPa/550/580 °C”, *Mechanik*, nr 07, ss. 165–172, 2014.
- [134] A. Gardzilewicz, J. Głuch, M. Bogulicz, W. Uziębło, i T. Jankowski, „Program diagnostyki ciepłno-przepływowej DIAGAR jako narzędzie prognozowania remontu aparatów składowych turbinowych obiegów energetycznych”, w *V Krajowa Konferencja Diagnostyki Procesów Przemysłowych 2001*, 2001, ss. 459–462.
- [135] A. Gardzilewicz, J. Głuch, i M. Bogulicz, „Instrukcja do programu DIAGAR dla turbozespołu No 3 w Elektrowni Kozienice”, 1994.
- [136] J. J. Grefenstette, „Optimization of Control Parameters for Genetic Algorithms”, *IEEE Trans. Syst. Man Cybern.*, t. 16, nr 1, ss. 122–128, 1986, doi: 10.1109/TSMC.1986.289288.
- [137] A. Augugliaro, L. Dusonchet, i E. R. Sanseverino, „Service restoration in compensated distribution networks using a hybrid genetic algorithm”, t. 46, ss. 59–66, 1998.
- [138] W. Y. Wang, C. Y. Cheng, i Y. G. Leu, „An Online GA-Based Output-Feedback Direct Adaptive Fuzzy-Neural Controller for Uncertain Nonlinear Systems”, *IEEE Trans. Syst. Man, Cybern. Part B Cybern.*, t. 34, nr 1, ss. 334–345, 2004, doi: 10.1109/TSMCB.2003.816995.
- [139] Cytowski J., *Algorytmy genetyczne postawy i zastosowania*. Warszawa: Akademicka Oficyna Wydawnicza, 1996.
- [140] Y. W. Leung, Y. Wang, Y. W. Leung, i Y. Wang, „An orthogonal genetic algorithm with quantization for global numerical optimization”, *IEEE Trans. Evol. Comput.*, t. 5, nr 1, ss. 41–

53, 2001, doi: 10.1109/4235.910464.

- [141] M. Ameri, H. Mokhtari, i M. Mostafavi Sani, „4E analyses and multi-objective optimization of different fuels application for a large combined cycle power plant”, *Energy*, t. 156, ss. 371–386, 2018, doi: 10.1016/j.energy.2018.05.039.
- [142] T. D. Gwiazda, *Algorytmy genetyczne kompendium Tom 1 Operator krzyżowania dla problemów numerycznych*. Warszawa: Wydawnictwo Naukowe PWN, 2009.
- [143] C. Ordóñez Galán, F. Sánchez Lasheras, F. J. de Cos Juez, i A. Bernardo Sánchez, „Missing data imputation of questionnaires by means of genetic algorithms with different fitness functions”, *J. Comput. Appl. Math.*, t. 311, ss. 704–717, 2017, doi: 10.1016/j.cam.2016.08.012.
- [144] N. Gupta, A. Swarnkar, i K. R. Niazi, „Distribution network reconfiguration for power quality and reliability improvement using Genetic Algorithms”, *Int. J. Electr. Power Energy Syst.*, t. 54, ss. 664–671, sty. 2014, doi: 10.1016/j.ijepes.2013.08.016.
- [145] M. Qiu, S. Member, Z. Ming, J. Li, K. Gai, i Z. Zong, „Phase-Change Memory Optimization for Green Cloud with Genetic Algorithm”, t. 64, nr 12, ss. 3528–3540, 2015.
- [146] F. Esterhammer, A. T. Stadler, i W. Baumgartner, „Optimizing the Cross Section of Cold-Rolled Steel Beams Using a Genetic Algorithm : Avoiding Local Optima Using Adaptive Mutation Control , Flexible Restriction Handling and Inbreed Avoiding Mating Strategies”, t. 1, ss. 1–11, 2016.
- [147] B. Tomoiag, M. Chindris, A. Sumper, R. Villafafila-robles, i A. Sudria-andreu, „Distribution system reconfiguration using genetic algorithm based on connected graphs”, t. 104, ss. 216–225, 2013, doi: 10.1016/j.epr.2013.06.021.
- [148] J. Z. Zhu, „Optimal reconfiguration of electrical distribution network using the refined genetic algorithm”, t. 62, 2002.
- [149] J. Torres, J. L. Guardado, F. Rivas-Dávalos, S. Maximov, i E. Melgoza, „A genetic algorithm based on the edge window decoder technique to optimize power distribution systems reconfiguration”, *Int. J. Electr. Power Energy Syst.*, t. 45, nr 1, ss. 28–34, luty 2013, doi: 10.1016/j.ijepes.2012.08.075.
- [150] D. Duan, X. Ling, X. Wu, i B. Zhong, „Electrical Power and Energy Systems Reconfiguration of distribution network for loss reduction and reliability improvement based on an enhanced genetic algorithm”, *Int. J. Electr. Power Energy Syst.*, t. 64, ss. 88–95, 2015, doi: 10.1016/j.ijepes.2014.07.036.
- [151] M. Nazari-Heris, B. Mohammadi-Ivatloo, i A. Haghrah, „Optimal short-term generation scheduling of hydrothermal systems by implementation of real-coded genetic algorithm based on improved Mühlenbein mutation”, *Energy*, t. 128, ss. 77–85, cze. 2017, doi: 10.1016/j.energy.2017.04.007.
- [152] M. Drosińska-Komor i J. Głuch, „Istotność procesu selekcji przy wykorzystaniu algorytmów genetycznych do diagnostyki ciepłno-przepływowej”, *Przegląd Mech.*, nr 9, ss. 55–57, 2018.

Spis rysunków

| | | |
|---------|--|----|
| Rys. 1 | Geneza i zastosowanie diagnostyki procesów przemysłowych na podstawie [31]. | 7 |
| Rys. 2 | Wykres przedstawiający liczbę uszkodzeń w czasie t gdzie: I- liczba uszkodzeń maleje, II-liczba uszkodzeń pozostaje bez zmiany, III-liczba uszkodzeń zaczyna wzrastać, a- wypadkowa liczba wszystkich uszkodzeń, b- wystąpienie uszkodzeń spowodowanych zużyciem materiału, c- wystąpienie wczesnych uszkodzeń [Na podstawie [35]]. | 7 |
| Rys. 3 | Wykres stanu technicznego urządzenia technicznego odniesiony do czasu. Na podstawie [35]. | 10 |
| Rys. 4 | Schemat procedury diagnozowania. | 10 |
| Rys. 5 | Funkcja przedstawiająca ekstremum. Czerwony punkt prezentuje minimum globalne. | 16 |
| Rys. 6 | Schemat funkcjonalny obiegu z zastosowaniem turbiny 200 MW. [88] | 19 |
| Rys. 7 | Numeryczny schemat obiegu z turbiną 200 MW stworzony w programie Projdiag. [88] | 20 |
| Rys. 8 | Tworzenie zbioru wyników w programie DIAGAR. | 21 |
| Rys. 9 | Schemat działania standardowego algorytmu genetycznego na podstawie [113]. | 23 |
| Rys. 10 | Przykład przeprowadzonej operacji krzyżowania na chromosomach. | 25 |
| Rys. 11 | Przykład przeprowadzenia operacji mutacji. | 25 |
| Rys. 12 | Syndrom przedstawiająca luz w uszczelnieniach stopni pierwszej grupy stopni WP wyznaczona dla jednokrotnych degradacji. | 28 |
| Rys. 13 | Schemat ideowy programu mającego na celu określenie lokalizacji i identyfikacji przyczyn degradacji eksploatacyjnej w układzie łopatkowym turbin parowych [31]. | 29 |
| Rys. 14 | Geometria stopnia turbiny poddanego degradacji gdzie: a1 średnica wlotu kierownicy, b1 cięciwa profilu kierownicy, t1 skok kierownicy, C1 prędkość bezwzględna na wlocie kierownicy, W1 prędkość względna na wlocie wirnika, a2 średnica wlotu wirnika, b2 cięciwa wirnika, t2- skok wirnika, C2- prędkość bezwzględna na wylocie wirnika, W2- prędkość bezwzględna na wylocie wirnika, Lszkiel1- długość linii szkieletowej profilu kierownicy, Lszkiel2- długość linii szkieletowej łopatek wirnika, Delz1 - luz uszczelnienia zewnętrznego stopnia, Delw1- luz wewnętrzny segmentów dławnic zwykłych. | 30 |
| Rys. 15 | Przykładowy zestaw danych geometrycznych jednego ze stopni turbinowych: a) oznaczenia występujących elementów geometrycznych, b) wartość danych. | 31 |
| Rys. 16 | Schemat algorytmu pokazującego postępowanie w celu wyszukiwania degradacji wielokrotnych. | 33 |
| Rys. 17 | Syndrom dla symulowanej degradacji parametru geometrycznego (krawędzie spływowe profili 2 GS WP) o wartości 8%. | 39 |
| Rys. 18 | Syndrom wynikowy poszukiwania symulowanej degradacji parametru geometrycznego (krawędzie spływowe profili 2 GS WP). | 39 |
| Rys. 19 | Porównanie otrzymanych charakterystyk degradacji symulowanej oraz poszukiwania jej dla krawędzi spływowych profili 2 GS WP. | 40 |
| Rys. 20 | Syndrom dla symulowanej degradacji parametru geometrycznego luzu w uszczelnieniach 1 GS WP o wartości 10%. | 42 |
| Rys. 21 | Syndrom dla poszukiwania symulowanej degradacji parametru geometrycznego (9% luz w uszczelnieniach 1 GS WP, 8% krawędzie spływu profili 1 GS WP). | 42 |
| Rys. 22 | Porównanie otrzymanych charakterystyk degradacji oraz poszukiwania jej dla luzu w uszczelnieniach 1 GS WP. | 43 |
| Rys. 23 | Syndrom dla symulowanej degradacji parametru geometrycznego (luz w uszczelnieniach 5 GS SP) o wartości 87%. | 45 |

| | |
|---|----|
| Rys. 24 Syndrom dla poszukiwania symulowanej degradacji parametru geometrycznego (luz w uszczelnieniach 5 GS WP). | 45 |
| Rys. 25 Porównanie otrzymanych charakterystyk degradacji oraz poszukiwania jej dla luzu w uszczelnieniach 5 GS SP. | 46 |
| Rys. 26 Syndrom dla symulowanej degradacji parametru geometrycznego luzu w uszczelnieniach 4 GS SP o wartości 87%. | 47 |
| Rys. 27 Syndrom dla poszukiwania symulowanej degradacji parametru geometrycznego luzu w uszczelnieniach 4 GS SP. | 48 |
| Rys. 28 Porównanie otrzymanych charakterystyk degradacji oraz poszukiwania jej dla luzu w uszczelnieniach 4 GS WP. | 48 |
| Rys. 29 Syndrom dla symulowanej dwukrotnej degradacji dla wartości 23 % luzu w uszczelnieniach 2 GS WP oraz 18% dla luzu w uszczelnieniach 3 GS SP. | 50 |
| Rys. 30 Syndrom dla poszukiwania dwukrotnej degradacji (24% luzu w uszczelnieniach 2 GS WP, 18% luzu w uszczelnieniach 3 GS SP). | 50 |
| Rys. 31 Porównanie otrzymanych charakterystyk degradacji oraz poszukiwania jej dla luzu w uszczelnieniach 2 GS WP oraz luzu w uszczelnieniach 3 GS SP. | 51 |
| Rys. 32 Syndrom dla symulowanej dwukrotnej degradacji dla wartości 14% krawędzi spływowych profili 1 GS WP oraz 66% dla luzu w uszczelnieniach 2 GS WP. | 53 |
| Rys. 33 Syndrom dla poszukiwania dwukrotnej degradacji (14% krawędzie spływowe profili 1 GS WP, 66% luz w uszczelnieniu 2 GS WP, 28% krawędzie spływowe profili 2 GS WP). | 53 |
| Rys. 34 Porównanie otrzymanych charakterystyk degradacji oraz poszukiwania wartości 14% krawędzi spływowych profili 1 GS WP oraz 66% dla luzu w uszczelnieniach 2 GS WP. | 54 |
| Rys. 35 Syndrom dla symulowanej dwukrotnej degradacji dla wartości 78% luzu w uszczelnieniu skrzynki dyszowej zaworu regulacyjnego WP oraz 20% luzu w uszczelnieniu zewnętrznym kadłuba WP. | 56 |
| Rys. 36 Syndrom dla poszukiwania dwukrotnej degradacji (65% luzu w uszczelnieniu skrzynki dyszowej zaworu regulacyjnego WP oraz 48% luzu w uszczelnieniu zewnętrznym kadłuba WP). | 56 |
| Rys. 37 Porównanie otrzymanych charakterystyk degradacji oraz poszukiwania jej dla 78% luzu w uszczelnieniu skrzynki dyszowej zaworu regulacyjnego WP oraz 20% luzu w uszczelnieniu zewnętrznym kadłuba WP. | 57 |
| Rys. 38 Syndrom dla symulowanej dwukrotnej degradacji dla wartości 78% luzu w uszczelnieniach 5 GS SP oraz 65% luzu w uszczelnieniu zewnętrznym kadłuba SP. | 59 |
| Rys. 39 Syndrom dla poszukiwania dwukrotnej degradacji (78% luzu w uszczelnieniach 5 GS SP, 65% luzu w uszczelnieniu zewnętrznym kadłuba SP, 9% luzu w uszczelnieniu skrzynki dyszowej zaworu regulacyjnego SP). | 59 |
| Rys. 40 Porównanie otrzymanych charakterystyk degradacji oraz poszukiwania jej dla 78% luzu w uszczelnieniach 5 GS SP, oraz 65% luzu w uszczelnieniu zewnętrznym kadłuba SP. | 60 |
| Rys. 41 Syndrom dla symulowanej potrójnej degradacji dla wartości 14% dla luzu w uszczelnieniach 2 GS WP, 58% dla krawędzi spływowych profili 3 GS SP oraz 6% luzu w uszczelnieniach 6 GS SP. | 62 |
| Rys. 42 Syndrom dla poszukiwania potrójnej degradacji (14% dla luzu w uszczelnieniach 2 GS WP, 59% dla krawędzi spływowych profili 3 GS SP oraz 8% luzu w uszczelnieniach 6 GS SP). | 62 |
| Rys. 43 Porównanie otrzymanych charakterystyk degradacji oraz poszukiwania jej dla 14% dla luzu w uszczelnieniach 2 GS WP, 58% dla krawędzi spływowych profili 3 GS SP oraz 6% luzu w uszczelnieniach 6 GS SP. | 63 |
| Rys. 44 Syndrom dla symulowanej potrójnej degradacji dla wartości 73% luzu w uszczelnieniu skrzynki dyszowej zaworu regulacyjnego WP, 43% luzu w uszczelnieniu zewnętrznym kadłuba WP i 10% luzu w uszczelnieniach 6 GS SP. | 65 |

| | |
|---|----|
| Rys. 45 Syndrom dla poszukiwania potrójnej degradacji (73% luzu w uszczelnieniu skrzynki dyszowej zaworu regulacyjnego WP, 45% luzu w uszczelnieniu zewnętrznych kadłuba WP, 5% krawędzie spływowe profili 6 GS SP, 2% krawędzie spływowe profili 1 GS WP). | 65 |
| Rys. 46 Porównanie otrzymanych charakterystyk degradacji oraz poszukiwania jej dla 73% luzu w uszczelnieniu skrzynki dyszowej zaworu regulacyjnego WP, 43% luzu w uszczelnieniu zewnętrznych kadłuba WP i 10% luzu w uszczelnieniach 6 GS SP. | 66 |
| Rys. 47 Syndrom dla symulowanej potrójnej degradacji dla wartości 25% luzu w uszczelnieniu skrzynki dyszowej zaworu regulacyjnego WP, 32% luzu w uszczelnieniu skrzynki dyszowej zaworu regulacyjnego SP oraz 62% luzu w uszczelnieniu zewnętrznym kadłuba SP. | 68 |
| Rys. 48 Syndrom dla poszukiwania potrójnej degradacji (25% luzu w uszczelnieniu skrzynki dyszowej zaworu regulacyjnego WP, 49% luzu w uszczelnieniu skrzynki dyszowej zaworu regulacyjnego SP oraz 49% luzu w uszczelnieniu zewnętrznym kadłuba SP). | 68 |
| Rys. 49 Porównanie otrzymanych charakterystyk degradacji oraz poszukiwania jej dla 25% luzu w uszczelnieniu skrzynki dyszowej zaworu regulacyjnego WP, 32% luzu w uszczelnieniu skrzynki dyszowej zaworu regulacyjnego SP oraz 62% luzu w uszczelnieniu zewnętrznym kadłuba SP. | 69 |
| Rys. 50 Syndrom dla symulowanej potrójnej degradacji dla wartości 25% krawędzi spływowych profili 1 GS WP, 34% dla luzu w uszczelnieniach 5 GS SP, 58% krawędzi spływowych profili 5 GS SP. | 71 |
| Rys. 51 Syndrom dla poszukiwania potrójnej degradacji (25% krawędzi spływowych profili 1 GS WP, 34% dla luzu w uszczelnieniach 5 GS SP, 58% krawędzi spływowych profili 5 GS SP). | 71 |
| Rys. 52 Porównanie otrzymanych charakterystyk degradacji oraz poszukiwania jej dla wartości 25% krawędzi spływowych profili 1 GS WP, 34% dla luzu w uszczelnieniach 5 GS SP, 58% krawędzi spływowych profili 5 GS SP. | 72 |
| Rys. 53 Syndrom dla symulowanej poczwórnej degradacji dla wartości 18% wartości luzu w uszczelnieniu skrzynki dyszowej zaworu regulacyjnego WP, 38% luzu w uszczelnieniu zewnętrznym kadłuba WP, 42% luzu w uszczelnieniach 1 GS WP, 25% luzu w uszczelnieniach 5 GS SP. | 74 |
| Rys. 54 Syndrom dla poszukiwania poczwórnej degradacji (19% luzu w uszczelnieniu skrzynki dyszowej zaworu regulacyjnego WP, 35% luzu w uszczelnieniu zewnętrznym kadłuba WP, 40% luzu w uszczelnieniach 1 GS WP, 25% luzu w uszczelnieniach 5 GS SP oraz 17% krawędzi spływowych profili 1 GS WP). | 74 |
| Rys. 55 Porównanie otrzymanych charakterystyk degradacji oraz poszukiwania jej dla 18% wartości luzu w uszczelnieniu skrzynki dyszowej zaworu regulacyjnego WP, 38% luzu w uszczelnieniu zewnętrznym kadłuba WP, 42% luzu w uszczelnieniach 1 GS WP, 25% luzu w uszczelnieniach 5 GS SP. | 75 |
| Rys. 56 Syndrom dla symulowanej potrójnej degradacji dla wartości 54% krawędzi spływowych profili 6 GS SP, 27% krawędzi spływowych profili 5 GS SP, 5% luzu w uszczelnieniu skrzynki dyszowej zaworu regulacyjnego SP, 32% krawędzi spływowych profili 2 GS WP. | 77 |
| Rys. 57 Syndrom dla poszukiwania poczwórnej degradacji (45% krawędzie spływowe profili 6 GS SP, 28% krawędzie spływowe profili 5 GS SP, 32% krawędzie spływowe profili 2 GS, 29% luzu w uszczelnieniach 6 GS SP). | 77 |
| Rys. 58 Porównanie otrzymanych charakterystyk degradacji oraz poszukiwania jej dla wartości 54% krawędzi spływowych profili 6 GS SP, 27% krawędzi spływowych profili 5 GS SP, 5% luzu w uszczelnieniu skrzynki dyszowej zaworu regulacyjnego SP, 32% krawędzi spływowych profili 2 GS WP. | 78 |
| Rys. 59 Syndrom dla symulowanej poczwórnej degradacji dla wartości 18% krawędzi spływowych profili 6 GS SP, 65% luzu w uszczelnieniach 4 GS SP, 32% luzu w uszczelnieniach 2 GS WP i 15% luzu w uszczelnieniu zewnętrznym kadłuba SP. | 80 |
| Rys. 60 Syndrom dla poszukiwania poczwórnej degradacji (11% krawędzi spływowych profili 6 GS SP, 61% luzu w uszczelnieniach 4 GS SP, 31% luzu w uszczelnieniach 2 GS WP i 7% luzu w uszczelnieniu | |

| | |
|---|-----|
| zewnętrznym kadłuba SP, 11% zmianę luzu w uszczelnieniu skrzynki dyszowej zaworu regulacyjnego SP, 22% luzu w uszczelnieniach 6 GS SP)..... | 80 |
| Rys. 61 Porównanie otrzymanych charakterystyk degradacji oraz poszukiwania jej dla wartości 18% krawędzi spływowych profili 6 GS SP, 65% luzu w uszczelnieniach 4 GS SP, 32% luzu w uszczelnieniach 2 GS WP i 15% luzu w uszczelnieniu zewnętrznym kadłuba SP. | 81 |
| Rys. 62 Syndrom dla symulowanej poczwórnej degradacji dla wartości 51% luzu w uszczelnieniu skrzynki dyszowej zaworu regulacyjnego WP, 25% luzu w uszczelnieniach 3 GS SP, 8% luzu w uszczelnieniach 5 GS SP, 64% krawędzi spływowych profili 5 GS SP..... | 83 |
| Rys. 63 Syndrom dla poszukiwania poczwórnej degradacji (34 % luzu w uszczelnieniu skrzynki dyszowej zaworu regulacyjnego WP, 25% luzu w uszczelnieniach 3 GS SP, 8% luzu w uszczelnieniach 5 GS SP, 64% krawędzi spływowych profili 5 GS SP, 35% luz w uszczelnieniu zewnętrznym kadłuba WP)..... | 83 |
| Rys. 64 Porównanie otrzymanych charakterystyk degradacji oraz poszukiwania jej dla wartości 51 % luzu w uszczelnieniu skrzynki dyszowej zaworu regulacyjnego WP, 25% luzu w uszczelnieniach 3 GS SP, 8% luzu w uszczelnieniach 5 GS SP, 64% krawędzi spływowych profili 5 GS SP..... | 84 |
| Rys. 65 Wartość procentowa odnalezienia uszkodzenia w degradacji jednokrotnych, gdzie: 1 - syndrom składający się z większej liczby elementów geometrycznych niż jeden; 2 - znalezienie poszukiwanego elementu, gdzie posiadał identyczną wartość procentową..... | 85 |
| Rys. 66 Wartość procentowa pokazująca czy syndrom składający się z większej liczby elementów geometrycznych niż jeden wskazał zasymulowane uszkodzenie, gdzie 1 posiadał zasymulowane uszkodzenie a 2, że nie..... | 86 |
| Rys. 67 Wartość procentowa dla trafienia w degradacjach dwukrotnych, gdzie: 1 - syndrom składający się z większej liczby elementów geometrycznych niż dwa; 2 - znalezienie dokładnie tylko poszukiwanych lokalizacji zdegradowanych elementów..... | 87 |
| Rys. 68 Wartość procentowa pokazująca czy syndrom składający się z większej liczby elementów geometrycznych niż dwa posiadał zasymulowane uszkodzenie, gdzie 1 posiadał zasymulowane uszkodzenie a 2, że nie..... | 87 |
| Rys. 69 Wartość procentowa dla trafienia w degradacjach trzykrotnych, gdzie: 1 - syndrom składający się z większej liczby elementów geometrycznych niż trzy; 2 - znalezienie dokładnie tylko poszukiwanych lokalizacji zdegradowanych elementów..... | 88 |
| Rys. 70 Wartość procentowa pokazująca czy syndrom składający się z większej liczby elementów geometrycznych niż trzy posiadał zasymulowane uszkodzenie, gdzie 1 posiadał zasymulowane uszkodzenie a 2, że nie posiadał..... | 88 |
| Rys. 71 Wartość procentowa dla trafienia w degradacjach czterokrotnych, gdzie: 1 - syndrom składający się z większej liczby elementów geometrycznych niż cztery; 2- znalezienie dokładnie tylko poszukiwanych lokalizacji zdegradowanych elementów..... | 89 |
| Rys. 72 Wartość procentowa pokazująca czy syndrom składający się z większej liczby elementów geometrycznych niż cztery posiadał zasymulowane uszkodzenie, gdzie 1 posiadał zasymulowane uszkodzenie a 2, że nie posiadał..... | 89 |
| Rys. 74 Charakterystyki przedstawiające proces selekcji dla jednostkowego zużycia ciepła. | 130 |
| Rys. 75 Charakterystyki przedstawiające proces selekcji dla mocy. | 130 |
| Rys. 76 Charakterystyki przedstawiające proces selekcji dla wartości sumarycznej. | 130 |
| Rys. 77 Charakterystyki przedstawiające proces selekcji dla wartości średniej. | 131 |
| Rys. 78 Charakterystyki przedstawiające proces selekcji dla kurtozy. | 131 |
| Rys. 79 Charakterystyki przedstawiające proces selekcji dla skośności. | 131 |
| Rys. 80 Udział symptomów dotyczących kadłuba WP w sumarycznej odchyłce dla różnych degradacji opisanych seriami danych i rozmiarami degradacji względem wartości maksymalnej degradacji; 1 – | |

| | |
|--|-----|
| 25% degradacji, 2 – 50% degradacji, 3 – 75% degradacji. Gdzie numer serii oznacza numer jednego z 22 parametrów..... | 132 |
| Rys. 81 Symulowany syndrom dla pojedynczej degradacji przedstawiająca luz w uszczelnieniu skrzynki dyszowej zaworu regulacyjnego turbiny wysokoprężnej..... | 135 |
| Rys. 82 Symulowany syndrom dla pojedynczej degradacji przedstawiająca chropowatość układu łopatkowego 1 grupy stopni turbiny WP..... | 135 |
| Rys. 83 Symulowany syndrom dla podwójnych degradacji otrzymany dla zmiany parametrów chropowatości układu łopatkowego 1 grupy stopni części WP oraz chropowatości układu łopatkowego 3 grupy stopni części SP..... | 136 |
| Rys. 84 Symulowany syndrom dla podwójnych degradacji otrzymany dla zmiany parametrów luzu w uszczelnieniu skrzynki dyszowej zaworu regulacyjnego części SP oraz chropowatości układu łopatkowego 1 grupy stopni części WP..... | 136 |
| Rys. 85 Symulowany syndrom dla potrójnych degradacji otrzymany dla luzu w uszczelnieniu skrzynki dyszowej zaworu regulacyjnego WP, luzu w uszczelnieniu skrzynki dyszowej zaworu regulacyjnego SP oraz krawędzi spływu 6 grupy stopni części SP | 136 |
| Rys. 86 Symulowany syndrom dla potrójnych degradacji otrzymany dla chropowatości układu łopatkowego 6 grupy stopni części SP, luzu w uszczelnieniu zewnętrznym kadłuba WP oraz luzu w uszczelnieniu skrzynki dyszowej zaworu regulacyjnego WP..... | 137 |
| Rys. 87 Symulowany syndrom dla poczwórnych degradacji otrzymany dla luzu w uszczelnieniach 2 grupy stopni części WP, chropowatość układu łopatkowego 1 grupy stopni części WP, luzu w uszczelnieniach zewnętrznych kadłuba WP, luzu w uszczelnieniach skrzynki dyszowej zaworu regulacyjnego WP oraz luzu w uszczelnieniach 4 grupy stopni części SP | 137 |
| Rys. 88 Symulowany syndrom dla poczwórnych degradacji otrzymany dla luzu w uszczelnieniu 2 grupy stopni części WP, luzu w uszczelnieniach zewnętrznych kadłuba WP, Chropowatość układu łopatkowego 1 grupy stopni części WP, luzu w uszczelnieniach zewnętrznych kadłuba SP. | 137 |

Spis tabel

| | |
|---|----|
| Tab. 1 Zmienne niezależne określające stan cieplny bloku parowego | 9 |
| Tab. 2 Przegląd literaturowy metody użytej do procesu diagnostycznego obiektu wirnikowego. | 12 |
| Tab. 3 Analiza SWOT diagnostyki cieplno-przepływowej za pomocą algorytmów genetycznych | 16 |
| Tab. 4 Analiza SWOT diagnostyki cieplno-przepływowej za pomocą sztucznych sieci neuronowych. | 17 |
| Tab. 5 Zestawienie parametrów zależnych i niezależnych użytych w programie DIAGAR..... | 21 |
| Tab. 6 Opis definicji dla metody algorytmów genetycznych i dla diagnostyki cieplno-przepływowej. | 23 |
| Tab. 7 Zakres zmienności wartości parametrów degradowanych w części WP oraz SP. | 26 |
| Tab. 8 Pełny opis nazw użytych do opisanego zestawów danych geometrycznych na rys. 15. | 31 |
| Tab. 9 Zależności między parametrami występujące podczas procesu degradacji. | 36 |
| Tab. 10 Wyniki dla pojedynczej degradacji 8% krawędzi spływu profili 2 GS WP. | 38 |
| Tab. 11 Lokalizacja i identyfikacja przyczyn degradacji dla przypadku pierwszego. | 41 |
| Tab. 12 Wyniki dla pojedynczej degradacji 10% luzu występującego w uszczelnieniach 1 GS WP.... | 41 |
| Tab. 13 Lokalizacja i identyfikacja przyczyn degradacji dla przypadku drugiego pojedynczej degradacji. | 43 |
| Tab. 14 Wyniki dla pojedynczej degradacji 87% luzu występującego w uszczelnieniach 5 GS SP. | 44 |
| Tab. 15 Lokalizacja i identyfikacja przyczyn degradacji dla przypadku trzeciego pojedynczej degradacji. | 46 |
| Tab. 16 Wyniki dla pojedynczej degradacji 87% luzu występującego w uszczelnieniach 4 GS SP. | 47 |
| Tab. 17 Lokalizacja i identyfikacja przyczyn degradacji dla przypadku czwartego pojedynczej degradacji. | 49 |
| Tab. 18 Wyniki dla podwójnej degradacji składającej się z degradacji na poziomie 23 % dla luzu w uszczelnieniach 2 GS WP oraz 18% dla luzu w uszczelnieniach 3 GS SP. | 49 |
| Tab. 19 Lokalizacja i identyfikacja przyczyn degradacji dla przypadku pierwszego podwójnej degradacji. | 51 |
| Tab. 20 Wyniki dla podwójnej degradacji składającej się z degradacji na poziomie 14 % krawędzi spływowych profili 1 GS WP oraz 66 % dla luzu w uszczelnieniach 2 GS WP. | 52 |
| Tab. 21 Lokalizacja i identyfikacja przyczyn degradacji dla przypadku drugiego podwójnej degradacji. | 54 |
| Tab. 22 Wyniki dla podwójnej degradacji składającej się z degradacji na poziomie 78 % dla luzu w uszczelnieniu skrzynki dyszowej zaworu regulacyjnego WP oraz 20% dla luzu w uszczelnieniach zewnętrznych kadłuba WP. | 55 |
| Tab. 23 Lokalizacja i identyfikacja przyczyn degradacji dla przypadku trzeciego podwójnej degradacji. | 57 |
| Tab. 24 Wyniki dla podwójnej degradacji składającej się z degradacji na poziomie 78% luzu w uszczelnieniach 5 GS SP oraz 65% luzu w uszczelnieniu zewnętrznym kadłuba SP. | 58 |
| Tab. 25 Lokalizacja i identyfikacja przyczyn degradacji dla przypadku czwartego podwójnej degradacji. | 60 |
| Tab. 26 Wyniki dla potrójnej degradacji składającej się z degradacji na poziomie 14% dla luzu w uszczelnieniach 2 GS WP, 58% dla krawędzi spływowych profili 3 GS SP oraz 6% luzu w uszczelnieniach 6 GS SP. | 61 |
| Tab. 27 Lokalizacja i identyfikacja przyczyn degradacji dla przypadku pierwszego potrójnej degradacji. | 63 |
| Tab. 28 Wyniki dla potrójnej degradacji składającej się z uszkodzenia 73% dla luzu w uszczelnieniu skrzynki dyszowej zaworu regulacyjnego WP, 43% luzu w uszczelnieniu zewnętrznych kadłuba WP i 10% luzu w uszczelnieniach 6 GS SP | 64 |

| | |
|---|-----|
| Tab. 29 Lokalizacja i identyfikacja przyczyn degradacji dla przypadku drugiego potrójnej degradacji. | 66 |
| Tab. 30 Wyniki dla potrójnej degradacji składającej się z degradacji na poziomie 25% luzu w uszczelnieniu skrzynki dyszowej zaworu regulacyjnego WP, 32% luzu w uszczelnieniu skrzynki dyszowej zaworu regulacyjnego SP oraz 62% luzu w uszczelnieniu zewnętrznym kadłuba SP..... | 67 |
| Tab. 31 Lokalizacja i identyfikacja przyczyn degradacji dla przypadku trzeciego potrójnej degradacji. | 69 |
| Tab. 32 Wyniki dla potrójnej degradacji składającej się z degradacji na poziomie 25% krawędzi spływowych profili 1 GS WP, 34% dla luzu w uszczelnieniach 5 GS SP, 58% krawędzi spływowych profili 5 GS SP. | 70 |
| Tab. 33 Lokalizacja i identyfikacja przyczyn degradacji dla przypadku czwartego potrójnej degradacji. | 72 |
| Tab. 34 Wyniki dla poczwórnej degradacji składającej się z degradacji na poziomie 18% wartości luzu w uszczelnieniu skrzynki dyszowej zaworu regulacyjnego WP, 38% luzu w uszczelnieniu zewnętrznym kadłuba WP, 42% luzu w uszczelnieniach 1 GS WP, 25% luzu w uszczelnieniach 5 GS SP..... | 73 |
| Tab. 35 Lokalizacja i identyfikacja przyczyn degradacji dla przypadku pierwszego poczwórnej degradacji. | 75 |
| Tab. 36 Wyniki dla poczwórnej degradacji składającej się z degradacji na poziomie 54% krawędzi spływowych profili 6 GS SP, 27% krawędzi spływowych profili 5 GS SP, 5% luzu w uszczelnieniu skrzynki dyszowej zaworu regulacyjnego SP, 32% krawędzi spływowych profili 2 GS WP..... | 76 |
| Tab. 37 Lokalizacja i identyfikacja przyczyn degradacji dla przypadku drugiego poczwórnej degradacji. | 78 |
| Tab. 38 Wyniki dla poczwórnej degradacji składającej się z degradacji na poziomie 18% krawędzi spływowych profili 6 GS SP, 65% luzu w uszczelnieniach 4 GS SP, 32% luzu w uszczelnieniach 2 GS WP i 15 % luzu w uszczelnieniu zewnętrznym kadłuba SP. | 79 |
| Tab. 39 Lokalizacja i identyfikacja przyczyn degradacji dla przypadku trzeciego poczwórnej degradacji. | 81 |
| Tab. 40 Wyniki dla poczwórnej degradacji składającej się z degradacji na poziomie 51 % luzu w uszczelnieniu skrzynki dyszowej zaworu regulacyjnego WP, 25% luzu w uszczelnieniach 3 GS SP, 8% luzu w uszczelnieniach 5 GS SP, 64% krawędzi spływowych profili 5 GS SP. | 82 |
| Tab. 41 Lokalizacja i identyfikacja przyczyn degradacji dla przypadku czwartego poczwórnej degradacji. | 84 |
| Tab. 42 Opis degradacji użytych do procedury selekcji dla rys. 73 - rys. 78..... | 129 |
| Tab. 43 Przedstawienie uszeregowania symptomów w sygnaturze degradacji przy pierwszym typie degradacji. | 132 |
| Tab. 44 Prezentacja uszeregowania symptomów w syndromie przy drugim typie degradacji. | 133 |
| Tab. 45 Zbiór pozyskanych wyników działania zbudowanej procedury diagnostycznej wskazujący lokalizację i identyfikację przyczyn degradacji pojedynczych | 138 |
| Tab. 46 Zbiór pozyskanych wyników działania zbudowanej procedury diagnostycznej wskazujący lokalizację i identyfikację przyczyn degradacji podwójnych..... | 142 |
| Tab. 47 Zbiór pozyskanych wyników działania zbudowanej procedury diagnostycznej wskazujący lokalizację i identyfikację przyczyn degradacji potrójnych. | 144 |
| Tab. 48 Zbiór pozyskanych wyników działania zbudowanej procedury diagnostycznej wskazujący lokalizację i identyfikację przyczyn degradacji poczwórnych..... | 147 |

Załącznik 1 Opis pliku danych do programu DIAGAR wykorzystywanego w zbudowanej metodzie diagnostyki ciepło-przepływowej

Załącznik ten prezentuje przykład wyglądu jednego z plików, w których znajdują się dane wejściowe do programu numerycznego DIAGAR. Plik ten posiada rozszerzenie .dan.

'PROJEKT' 3K100 'NOWY'

'TURBINA'30

0

3000 8 1

1 2 0 1 0 2 0 1 1

2 3 0 2 0 3 0 1 1

3 4 0 3 0 4 0 1 1

4 5 0 4 0 5 0 1 1

5 6 0 5 0 6 0 1 1

6 7 0 6 0 7 0 1 1

7 8 0 7 0 8 0 1 1

8 9 0 8 0 9 4 1 0

1

812. 810. 810. 56.5 59.5 56.5 122. 38.

92. 124. 934. .457 0. 0. 0. 0.

444. 0.6 7.5 8. 4. 805. 2.9 2.

640. 30. 7. 12. 0. 0. 90. 43.E-5

42.E-5 5.57 6.84 44.39 30.77 30. 157.3 52.52

0.512 0.588 47.5 43.4 5.2 5.93

2

812. 810. 810. 60. 63. 60. 112. 38.

92. 124. 941. .448 0. 0. 0. 0.

444. 0.6 7.5 8. 4. 804. 2.8 2.

640. 30. 7. 10. 0. 0. 90. 43.E-5

42.E-5 5.63 6.93 44.39 30.77 30. 157.3 52.52

0.512 0.588 47.5 43.4 5.24 6.01

3

812. 810. 810. 64. 67. 64. 102. 38.

30. 124. 949. .456 0. 0. 0. 0.

444. 0.6 7.5 8. 4. 804. 2.85 2.

640. 30. 7. 10. 0. 0. 90. 14.E-5

130.E-5 17.5 6.99 141.46 30.77 30. 491.94 52.52

0.8 0.588 155. 43.4 16.22 18.77

4

812. 810. 810. 68. 71. 68. 96. 38.

34. 124. 957. .468 0. 0. 0. 0.

444. 0.6 7.5 8. 4. 804. 2.95 2.

640. 30. 7. 10. 0. 0. 90. 16.E-5

130.E-5 15.65 7.04 121.42 30.77 30. 422.24 52.52

0.686 0.588 133. 43.4 14.44 16.86

5

812. 810. 810. 72. 75. 72. 93. 36.

34. 124. 965. .446 0. 0. 0. 0.

444. 0.6 7.5 8. 4. 804. 3.0 2.

640. 30. 7. 11. 0. 0. 90. 16.E-5

130.E-5 16.09 7.10 121.42 30.77 30. 422.24 52.52

0.686 0.588 133. 43.4 14.78 17.4
6
812. 810. 810. 77. 80. 77. 93. 36.
34. 124. 975. .444 0. 0. 0. 0.
444. 0.6 7.5 8. 4. 804. 2.75 2.
640. 30. 7. 11. 0. 0. 90. 16.E-5
128.E-5 16.57 7.16 121.42 30.77 30. 422.24 52.52
0.686 0.588 133. 43.4 15.13 18.0

7
813. 810. 810. 83.5 86.5 83.5 94. 36.
34. 124. 988. .467 0. 0. 0. 0.
444. 0.6 7.5 8. 4. 805. 3.3 2.
640. 30. 7. 11. 0. 0. 90. 16.E-5
128.E-5 16.73 7.26 121.42 30.77 30. 422.24 52.52
0.686 0.588 133. 43.4 15.17 18.29

8
812. 809. 809. 91. 94.5 91. 94. 36.
36. 164. 998. .494 0. 0. 0. 0.
444. 0.6 7.5 8. 4. 804.5 3.30 2.
640. 30. 7. 11. 0. 0. 90. 16.E-5
88.E-5 15.69 5.28 121.42 36.5 34.50 4422.24 98.46
0.686 0.8 133. 51.6 14.11 17.2

1
179.900 0.000 535.000 128.300 0.000 0.000

9
40.600
0

'TURBINA'45

0
3000 3 1
1 2 0 1 0 2 0 1 1
2 3 0 2 0 3 0 1 1
3 4 0 3 0 4 4 1 0

1
812. 809. 809. 94.5 98. 94.5 94. 36.
36. 164. 1010. .521 0. 0. 0. 0.
444. 0.8 5. 12. 4. 804. 3.58 2.
640. 30. 7. 11. 0. 0. 90. 16.E-5
22.E-5 15.75 5.29 121.42 27.08 34.50 422.24 74.67
0.686 0.606 133. 38.3 14.1 17.39

2
812. 809. 809. 103.5 107. 103.5 95. 44.
36. 120. 1028. .519 0. 0. 0. 0.
444. 0.8 5. 12. 4. 804. 3.60 2.
640. 30. 7. 12. 0. 0. 90. 16.E-5
22.E-5 16.13 7.26 121.42 27.08 34.50 422.24 74.67
0.686 0.606 133. 38.3 14.3 17.95

3
812. 809. 809. 113.5 117. 113.5 96. 56.
36. 120. 1048. 0.521 0. 0. 0. 0.
444. 0.8 5. 12. 4. 804. 3.30 2.
640. 30. 7. 12. 0. 0. 90. 16.E-5
22.E-5 16.52 7.44 121.42 27.08 34.50 422.24 74.67
0.686 0.606 133. 38.3 14.49 18.54

1

170.900 0.000 375.000 40.600 0.000 0.000

4

26.980

0

'TURBINA'90

0

3000 3 1

1 1 0 1 0 2 0 1 1

2 2 0 2 0 3 0 1 1

3 3 0 3 0 4 4 1 0

1

1060.000 1057.000 1060.000 93.500 97.000 93.500 180.000 40.000

60.000 138.000 1260.000 0.477 0.000 0.000 0.000 0.000

650.000 0.600 5.000 42.000 0.000 1040.000 4.450 2.000

0.000 0.000 0.000 6.000 0.000 0.000 90.000 1.6E-04

0.6E-03 14.970 9.840 101.600 30.000 30.000 0.000 0.000

0.800 0.700 112.000 43.000 17.760 20.180

2

1060.000 1056.000 1060.000 105.000 108.500 105.000 140.000 40.000

40.000 138.000 1285.000 0.458 0.000 0.000 0.000 0.000

514.000 0.600 5.000 7.000 0.000 1040.000 4.300 2.000

735.000 50.000 7.000 9.000 0.000 0.000 90.000 1.0E-04

0.6E-03 23.240 9.930 152.000 30.000 30.000 0.000 0.000

1.200 0.700 170.000 43.000 25.240 29.330

3

1060.000 1057.000 1060.000 116.000 120.000 116.000 100.000 50.000

34.000 138.000 1304.000 0.466 0.000 0.000 0.000 0.000

514.000 0.600 5.000 7.000 0.000 1040.000 4.450 2.000

735.000 50.000 7.000 9.000 0.000 0.000 90.000 1.0E-04

0.6E-03 29.410 10.560 152.000 32.000 30.000 0.000 0.000

1.200 0.700 170.000 43.000 30.510 36.310

1

152.030 0.000 512.000 23.300 0.000 0.000

4

12.200

0

'TURBINA'105

0

3000 4 1

1 1 0 1 0 2 0 1 1

2 2 0 2 0 3 0 1 1

3 3 0 3 0 4 0 1 1

4 4 0 4 0 5 4 1 0

1

1060.000 1055.000 1060.000 127.000 132.000 127.000 108.000 52.000

38.000 124.000 1325.000 0.454 0.000 0.000 0.000 0.000

514.000 0.600 5.000 7.000 0.000 1040.000 4.400 2.000

735.000 50.000 7.000 9.000 0.000 0.000 90.000 1.2E-04

0.2E-03 28.080 12.950 135.000 50.500 42.500 494.700 166.700

0.900 1.110 165.000 70.000 24.580 30.500

2

1060.000 1055.000 1060.000 148.500 153.500 148.500 98.000 56.000

70.000 124.000 1370.000 0.463 0.000 0.000 0.000 0.000

514.000 0.600 5.000 7.000 0.000 1040.000 6.050 2.000

735.000 50.000 7.000 9.000 0.000 0.000 90.000 0.2E-03

0.4E-03 16.210 13.160 84.060 50.500 44.000 0.000 166.700
0.912 1.110 90.000 67.300 14.280 18.920
3
1060.000 1055.000 1060.000 172.500 177.500 153.500 102.000 56.000
70.000 124.000 1416.000 0.467 0.000 0.000 0.000 0.000
514.000 0.600 5.000 7.000 0.000 1040.000 5.750 2.000
735.000 50.000 7.000 15.300 0.000 0.000 80.000 0.2E-03
0.2E-03 16.600 13.270 84.060 50.500 45.000 0.000 166.000
0.972 1.110 90.000 67.300 14.280 18.920

4
1060.000 1056.000 1060.000 197.000 202.000 177.500 104.000 58.000
36.000 124.000 1469.000 0.458 0.000 0.000 0.000 0.000
514.000 0.600 5.000 7.000 0.000 1040.000 5.800 2.000
735.000 50.000 7.000 15.300 1.000 0.005 77.000 1.2E-04
0.3E-03 31.530 13.400 135.000 55.000 44.000 494.700 230.000
0.900 0.800 165.000 74.600 25.600 35.000

1
142.500 0.000 435.000 12.200 0.000 0.000

5
4.890

0
'TURBINA'120

0
3000 2 1
1 1 0 1 0 2 0 1 1
2 2 0 2 0 3 4 1 0

1
1060.000 1055.000 1060.000 237.000 242.000 242.000 110.000 58.000
48.000 116.000 1545.000 0.459 0.000 0.000 0.000 0.000
620.000 0.600 5.000 2.000 0.000 1040.000 5.780 2.000
0.000 0.000 0.000 5.000 1.000 0.005 80.000 1.4E-04
0.4E-03 24.440 13.610 118.000 55.000 47.000 0.000 230.000
0.900 0.800 164.500 74.000 19.200 31.800

2
1060.000 1055.000 1060.000 286.761 293.000 242.000 145.000 55.000
38.000 116.000 1647.000 1.600 2.000 0.000 0.000 0.000
650.000 0.600 5.000 2.000 0.000 1040.000 6.000 0.000
0.000 0.000 0.000 5.750 1.000 0.005 82.500 1.4E-04
0.2E-03 32.590 13.800 132.000 55.400 51.500 0.000 230.000
1.010 0.800 179.700 72.690 25.640 39.540

1
139.830 0.000 308.000 4.890 0.000 0.000

3
2.680

0
'TURBINA'135

0
3000 2 1
1 1 0 1 0 2 0 1 1
2 2 0 2 0 3 4 1 0

1
1060.000 1054.000 1060.000 360.919 369.000 293.000 170.000 70.000
54.000 96.000 1797.000 4.500 0.000 0.000 0.000 0.000
700.000 0.600 4.000 2.000 1.000 1038.000 7.000 0.000
0.000 0.000 0.000 5.800 2.000 0.005 51.000 1.4E-04

1.4E-04 23.010 15.200 137.000 66.800 52.500 400.000 240.000
0.780 1.300 180.600 88.130 18.500 29.800
2
1060.000 1054.000 1054.000 490.871 500.000 369.000 214.000 76.000
60.000 90.000 2054.000 5.700 0.000 0.000 0.000 0.000
700.000 0.600 4.000 2.000 1.000 1034.000 10.050 0.000
0.000 0.000 0.000 7.450 2.000 0.005 51.500 1.4E-04
0.4E-03 21.130 15.400 134.000 77.000 49.250 400.000 311.000
0.780 1.390 181.300 104.800 14.150 27.150
1
133.210 0.000 240.000 2.680 0.000 0.000
3
1.280
0

'STRUKTURA'1

ZU1,5

5,10

10,15

15,18,770,785

770,775

775,780,750

780,755

785,790

790,795,750

795,755

18,19

19,20,700

700,705

705,710,35

710,755

20,25

25,30,505

30,35,40

35,445,40

40,45

45,50,55

50,440,540,750,333,55,950

55,60

60,70

70,71

71,73

73,75,805

805,810

810,815,750

815,755

75,80

80,85,820

820,825

825,830,750

830,755

85,87

87,90,715,600

715,720

720,725,110

725,755

90,95,100
95,435,100,333
100,105
105,110,115
110,395,115
115,120
120,125,130
125,390,130,970
130,135
135,140,145
140,375,145,625
145,150
150,155
155,160,205
160,165,170
165,345,170
170,175
175,180
180,185
185,190
190,195,200
200,250
ZU195,190
205,210,215
210,350,215
215,220
220,225
225,230
230,235
235,240,245
245,250
ZU240,235
250,300,325
325,355
300,305,190
305,310,320
310,330,315
315,335
330,335,340
340,235
335,345,350,360
345,355,190
333,760
350,355,235
355,360
360,365
365,370,235
370,375,400
375,380,385
385,380
380,390
390,395,375
395,400,390
400,405
405,410,300,407

407,530,535,555,560,615,620,630,635,650,655,660,665
410,415
415,420,425
425,430
430,435,450
435,440,395
440,445,435
445,450,440
450,1
420,70
750,365
755,330
320,750
760,405
505,510
510,35,515
515,520
520,110,525
525,750,1002
530,750,1002
535,755,1001
540,545
545,550,110
550,750,1002
555,750,1002
560,755,1001
600,605
605,610,110
610,750,1002
615,750,1002
620,755,1001
625,750,1002
630,750,1002
635,755,1001
650,225
660,180
655,755,1001
665,755,1001
950,190
970,190
1001 330
1002 365
'REGULACJA'
999 200G5 .97 140000 .975 160000 .98 185000 .985 200000 .984 220000 0 2 1
'APARATY'
1 500G183.00 130.005 535.00 0.0 0.99 0.98
5 32G0 4 3 0.008 0 2.5 0
10 14G2.5 0.008 4 0
15 350G0
770 31G0 0.65 100 0.05 8 0
775 353G0
780 31G0 0.65 20 0.000000001 12 0
785 31G0 0.65 100 0.050000000 8 0
790 353G0
795 31G0 0.65 20 0.000000001 12 0

18 351G0.008 -10
19 350G0
700 31G0 0.65 100 8.150000000 8 0
705 353G0
710 31G0 0.65 20 0.000000001 12 0
20 301G1 0.05 0.720
25 350G0
30 44G2 1 1 1 3400.8 100.060 40.326 183.93 0.8958 8 35
30/1 44G 2.00 0.010 0.001 -10 -10
35 349G0
40 350G0
45 44G2 1 1 1 3111.2 38.026 27.777 173.93 0.8958 3 50
45/1 44G 2.00 0.010 0.001 -10 -10
50 349G0
55 350G0
60 351G0.044 -10
70 316G0.022 535.000 2.506 1.800 1 0 -10
71 351G0.004 -10
73 350G0
805 31G0 0.65 100 0.050000000 8 0
810 353G0
815 31G0 0.65 20 0.000000001 12 0
75 351G0.004 -10
80 350G0
820 31G0 0.65 100 0.050000000 8 0
825 353G0
830 31G0 0.65 20 0.000000001 12 0
85 351G0.070 -10
87 350G0
715 31G0 0.65 110 6.700000010 8 0
720 353G0
725 31G0 0.65 20 0.000000001 12 0
90 44G2 1 1 1 3552.8 21.951 11.539 161.93 0.8322 3 95
90/1 44G 2.00 0.010 0.001 -10 -10
95 349G0
100 350G0
105 44G2 1 1 1 3365.6 11.369 4.858 151.93 0.9393 4 110
105/1 44G 2.00 0.010 0.001 -10 -10
110 349G0
115 350G0
120 44G2 1 1 1 3258.5 4.458 1.972 134.93 0.9393 2 125
120/1 44G 2.00 0.010 0.001 -10 -10
125 349G0
130 350G0
135 44G2 1 1 1 2987.9 1.862 1.262 128.93 0.9393 2 140
135/1 44G 3.50 0.010 0.001 -10 -10
140 349G0
145 350G0
150 351G0.019 -10
155 350G0
160 44G3 1 1 1 2817.2 1.232 0.209 62.46 0.8486 2 165
160/1 44G 4.00 0.010 0.001 -10 -10
165 349G0
170 350G0
175 24G1 1 1 1 2619.3 0.160 0.031 61.46 0.7200 1.00

175/1 24G 0.010 0.001 -10 -10
180 350G0
185 491G0.025 9.00 2
190 405G1 3 0 3830.2 0 7.5 2.5 0.0309 0.0309 3 10 0 0.00002 -10 -10
190/1 405G-10
190/2 405G0.028 0.030 0.028 0.031
190/3 405G2 0.007 766.0 0 4 13756 9.0 11420 110.0
195 501G3830.2 2.5 7.5
200 415G 13.78 0 0.0 180.0 0 0 0
205 44G3 1 1 1 2817.2 1.232 0.209 62.46 0.8486 2 210
205/1 44G 4.00 0.010 0.001 -10 -10
210 349G0
215 350G0
220 24G1 1 1 1 2619.3 0.160 0.033 61.46 0.7200 1.00
220/1 24G 0.010 0.001 -10 -10
225 350G0
230 491G0.025 9.00 2
235 405G2 3 0 3830.2 0 7.3 2.5 0.0330 0.0330 3 10 0 0.00002 -10 -10
235/1 405G-10
235/2 405G0.028 0.030 0.028 0.031
235/3 405G2 0.007 766.0 0 4 13756 9.0 11420 110.0
240 501G3830.2 2.5 7.3
245 415G 13.78 0 0.0 180.0 0 0 0
250 403G325 5.0 300 95.0
300 445G190 0.9 -10 -10 51.0 55.0 -10 -10 -10
325 170G 40 1 -10
305 450G0
310 403G315 2.0 330 98.0
315 170G 40 1 -10
330 165G 335 31.01 49.00 0.96 -10 -10 -10 -10
340 450G0
335 450G0
345 420G335 355 5.65 0.000 -10.00 0.056 0.03 0 -10.00 -10.00
345/1 420G -10.00 -10.00 -10.00 -10 -10 -10 1
333 333G 95 0.00 50 1.00 140000.
350 420G335 355 5.65 0.000 -10.00 0.056 0.03 0 -10.00 -10.00
350/1 420G -10.00 -10.00 -10.00 -10 -10 -10 1
355 450G0
360 421G -10 355
365 445G235 0.9 1.0 322 56 53.288 281.108 -10 -10
370 450G0
375 420G370 380 -0.16 0.000 1.17 0.056 0.03 0 -10.00 -10.00
375/1 420G -10.00 -10.00 -10.00 -10 -10 -10 2
385 415G 12.00 0 0.0 80.0 0 0 0
380 450G0
390 420G380 395 -7.39 0.000 10.73 0.056 0.03 0 -10.00 -10.00
390/1 420G -10.00 -10.00 -10.00 -10 -10 -10 2
395 420G390 400 0.87 0.000 20.34 0.056 0.03 0 -10.00 -10.00
395/1 420G -10.00 -10.00 -10.00 -10 -10 -10 2
400 421G-10 395
405 440G400 760 0 6.110 0.30
407 350G0
410 415G 50.00 0 0.0 180.0 0 0 0
425 415G168.24 0 0.0 180.0 0 0 0
415 450G0



430 450G0
 435 420G430 440 -2.38 0.000 68.63 0.073 0.02 0 -10.00 -10.00
 435/1 420G -10.00 -10.00 -10.00 -10 -10 -10 3
 440 420G435 445 5.27 0.000 21.18 0.073 0.03 0 -10.00 -10.00
 440/1 420G -10.00 -10.00 -10.00 -10 -10 -10 3
 445 420G440 450 1.35 0.000 22.79 0.073 0.05 0 -10.00 -10.00
 445/1 420G -10.00 -10.00 -10.00 -10 -10 -10 3
 450 421G-10 445
 420 470G 2.506
 750 33G 50 102.0
 755 29G0
 320 471G0
 760 351G0.033 -10
 505 31G0 0.35 400 4.800000000 24 0
 510 353G0
 515 31G0 0.65 400 0.800000000 24 0
 525 31G0 0.65 450 0.800000000 16 0
 520 353G0
 530 31G0 0.65 400 0.800000000 24 0
 535 31G0 0.65 450 0.800000000 16 0
 540 31G0 0.65 400 0.800000000 48 0
 545 353G0
 550 31G0 0.65 450 0.800000000 24 0
 555 31G0 0.65 450 0.800000000 24 0
 560 31G0 0.55 450 0.800000000 16 0
 600 31G0 0.55 500 0.800000000 32 0
 605 353G0
 610 31G0 0.55 500 0.800000000 32 0
 615 31G0 0.55 600 0.800000000 24 0
 620 31G0 0.55 600 0.800000000 24 0
 625 31G0 0.65 500 0.800000000 32 0
 630 31G0 0.65 600 0.800000000 24 0
 635 31G0 0.55 600 0.800000000 24 0
 650 31G0 0.95 600 0.800000000 24 0
 655 31G0 0.92 600 0.800000000 16 0
 660 31G0 0.95 600 0.800000000 24 0
 665 31G0 0.92 600 0.800000000 16 0
 950 356G 0.04 50.00
 970 252G0 240.0 1.6 63.0 1.3 60.0 10.0 63.0 10.0 1.0
 1001 348G0
 1002 348G0
 'ROZWIAZ'999
 'DRUKUJ'A6J1
 'DRUKUJ'S
 'STOP'

Załącznik 2 Opis pliku wyników programu DIAGAR wykorzystywanego w zbudowanej metodzie diagnostyki ciepłno-przepływowej

W miejscu tym jest pokazany przykład pliku wynikowego na łukach powstały w programie DIAGAR i plik ten posiada rozszerzenie luk.

LUK WEAPAR WYAPAR WEURZ WYURZ

1 1 5 500 32
2 5 10 32 14
3 10 15 14 350
4 15 18 350 351
5 15 770 350 31
6 15 785 350 31
7 18 19 351 350
8 19 20 350 301
9 19 700 350 31
10 20 25 301 350
11 25 30 350 44
12 25 505 350 31
13 30 35 44 349
14 30 40 44 350
15 505 510 31 353
16 510 35 353 349
17 510 515 353 31
18 515 520 31 353
19 520 110 353 349
20 520 525 353 31
21 525 750 31 33
22 525 1002 31 348
23 700 705 31 353
24 705 35 353 349
25 705 710 353 31
26 35 40 349 350
27 35 445 349 420
28 40 45 350 44
29 45 50 44 349
30 45 55 44 350
31 50 55 349 350
32 50 333 349 333
33 50 440 349 420
34 50 540 349 31
35 50 750 349 33
36 50 950 349 356
37 55 60 350 351
38 60 70 351 316
39 70 71 316 351
40 71 73 351 350
41 73 75 350 351
42 73 805 350 31
43 75 80 351 350
44 80 85 350 351
45 80 820 350 31
46 85 87 351 350
47 87 90 350 44
48 87 600 350 31
49 87 715 350 31
50 90 95 44 349

51 90 100 44 350
52 95 100 349 350
53 95 333 349 333
54 95 435 349 420
55 100 105 350 44
56 105 110 44 349
57 105 115 44 350
58 333 760 333 351
59 760 405 351 440
60 600 605 31 353
61 605 110 353 349
62 605 610 353 31
63 610 750 31 33
64 610 1002 31 348
65 715 720 31 353
66 720 110 353 349
67 720 725 353 31
68 725 755 31 29
69 820 825 31 353
70 825 750 353 33
71 825 830 353 31
72 830 755 31 29
73 805 810 31 353
74 810 750 353 33
75 810 815 353 31
76 815 755 31 29
77 540 545 31 353
78 545 110 353 349
79 545 550 353 31
80 110 115 349 350
81 110 395 349 420
82 115 120 350 44
83 120 125 44 349
84 120 130 44 350
85 125 130 349 350
86 125 390 349 420
87 125 970 349 252
88 130 135 350 44
89 135 140 44 349
90 135 145 44 350
91 140 145 349 350
92 140 375 349 420
93 140 625 349 31
94 145 150 350 351
95 150 155 351 350
96 155 160 350 44
97 155 205 350 44
98 160 165 44 349
99 160 170 44 350
100 165 170 349 350
101 165 345 349 420
102 170 175 350 24
103 175 180 24 350
104 205 210 44 349
105 205 215 44 350
106 210 215 349 350
107 210 350 349 420
108 215 220 350 24
109 220 225 24 350
110 625 750 31 33

111 625 1002 31 348
112 970 190 252 405
113 550 750 31 33
114 550 1002 31 348
115 950 190 356 405
116 710 755 31 29
117 770 775 31 353
118 775 750 353 33
119 775 780 353 31
120 780 755 31 29
121 785 790 31 353
122 790 750 353 33
123 790 795 353 31
124 795 755 31 29
125 195 190 501 405
126 190 195 405 501
127 190 200 405 415
128 200 250 415 403
129 250 300 403 445
130 250 325 403 170
131 300 190 445 405
132 300 305 445 450
133 305 310 450 403
134 305 320 450 471
135 310 315 403 170
136 310 330 403 165
137 315 335 170 450
138 335 345 450 420
139 335 350 450 420
140 335 360 450 421
141 345 190 420 405
142 345 355 420 450
143 355 360 450 421
144 360 365 421 445
145 365 235 445 405
146 365 370 445 450
147 235 240 405 501
148 235 245 405 415
149 240 235 501 405
150 245 250 415 403
151 370 375 450 420
152 370 400 450 421
153 375 380 420 450
154 375 385 420 415
155 380 390 450 420
156 390 375 420 420
157 390 395 420 420
158 395 390 420 420
159 395 400 420 421
160 400 405 421 440
161 405 300 440 445
162 405 407 440 350
163 405 410 440 415
164 407 530 350 31
165 407 535 350 31
166 407 555 350 31
167 407 560 350 31
168 407 615 350 31
169 407 620 350 31
170 407 630 350 31

171 407 635 350 31
172 407 650 350 31
173 407 655 350 31
174 407 660 350 31
175 407 665 350 31
176 530 750 31 33
177 530 1002 31 348
178 535 755 31 29
179 535 1001 31 348
180 555 750 31 33
181 555 1002 31 348
182 560 755 31 29
183 560 1001 31 348
184 615 750 31 33
185 615 1002 31 348
186 620 755 31 29
187 620 1001 31 348
188 630 750 31 33
189 630 1002 31 348
190 1002 365 348 445
191 635 755 31 29
192 635 1001 31 348
193 650 225 31 350
194 225 230 350 491
195 230 235 491 405
196 655 755 31 29
197 655 1001 31 348
198 660 180 31 350
199 180 185 350 491
200 185 190 491 405
201 665 755 31 29
202 665 1001 31 348
203 755 330 29 165
204 1001 330 348 165
205 410 415 415 450
206 415 420 450 470
207 415 425 450 415
208 420 70 470 316
209 425 430 415 450
210 430 435 450 420
211 430 450 450 421
212 435 395 420 420
213 435 440 420 420
214 440 435 420 420
215 440 445 420 420
216 445 440 420 420
217 445 450 420 421
218 450 1 421 500
219 385 380 415 450
220 350 235 420 405
221 350 355 420 450
222 330 335 165 450
223 330 340 165 450
224 340 235 450 405
225 320 750 471 33
226 750 365 33 445
227 325 355 170 450

DANE TYPU INTEGER I REAL O APARATACH
PIERWSZE 16 SŁÓW WEKTORA

137 1853 227 1027 683 0 0 0

0 0 0 0 0 0 0 0

JEDNOSTKOWE ZUZYCIE CIEPLA = 9256.845262

MOC WEWNETRZNA NI = 201706.0925

MOC GENERATORA NEL = 195695.2329

1 183.00000 130.00499 3430.17401 534.99915
2 183.00000 128.96495 3424.77044 532.50026
3 183.00000 122.51670 3430.17401 531.83955
4 182.89098 123.55674 3430.17401 532.28130
5 0.05451 123.55674 3430.17401 532.28130
6 0.05451 123.55674 3430.17401 532.28130
7 182.89098 122.56829 3430.17401 531.86149
8 173.02837 122.56829 3430.17401 531.86149
9 9.84208 122.56829 3430.17401 531.86149
10 173.01753 88.18390 3346.33574 482.96133
11 167.72956 88.18390 3346.33574 482.96133
12 5.24824 88.18390 3346.33574 482.96133
13 3.62386 41.42699 3246.49903 414.13579
14 164.10570 40.19755 3207.42539 396.60098
15 5.24824 41.42699 3346.33574 457.39106
16 4.41522 41.42699 3346.33574 457.39106
17 0.83335 41.42699 3346.33574 457.39106
18 0.83335 5.13639 3346.33574 435.41156
19 0.73171 5.13639 3346.33574 435.41156
20 0.10164 5.13639 3346.33574 435.41156
21 0.10164 1.03000 3346.33574 432.85473
22 0.00000 1.03000 3346.33574 432.85473
23 9.84208 41.42699 3430.17401 494.16774
24 9.84208 41.42699 3430.17401 494.16774
25 0.00000 41.42699 3430.17401 494.16774
26 0.00100 40.19755 3372.24840 468.05532
27 13.77658 41.42699 3372.24840 468.73230
28 164.10670 40.19755 3207.42640 396.60141
29 10.15868 26.52201 3126.88245 350.84543
30 153.94802 26.52201 3107.74162 342.57199
31 0.00100 26.52201 3126.88245 350.84543
32 0.00000 26.52201 3126.88245 350.84543
33 9.57880 26.52201 3126.88245 350.84543
34 0.41530 26.52201 3126.88245 350.84543
35 0.00000 26.52201 3126.88245 350.84543
36 0.04000 26.52201 3126.88245 350.84543
37 153.94902 26.51584 3107.74174 342.56613
38 153.94902 25.34915 3107.74174 341.44480
39 152.45522 24.79146 3539.65473 535.05457
40 152.45522 24.69230 3539.65473 535.01037
41 152.44385 25.07617 3539.65473 535.18137
42 0.01138 25.08244 3539.65473 535.18416
43 152.44385 24.97586 3539.65473 535.13671
44 152.43251 24.97586 3539.65473 535.13671
45 0.01133 24.98214 3539.65473 535.13950
46 152.42487 22.36631 3539.65473 533.96890
47 150.45438 22.36631 3539.65473 533.96890
48 0.38676 22.36631 3539.65473 533.96890
49 1.58315 22.36631 3539.65473 533.96890
50 10.16953 12.02910 3377.43766 454.32006
51 140.28484 11.93082 3359.43870 445.87487
52 0.00100 11.93082 3377.43766 454.26068
53 7.42207 12.02910 3377.43766 454.32006
54 2.69740 12.02910 3377.43766 454.32006
55 140.28584 11.93082 3359.43883 445.87493
56 2.68511 5.13639 3174.01411 352.91601

57 137.60073 4.95455 3134.23092 333.52627
58 7.42207 12.02910 3377.43766 454.32006
59 7.39131 11.63214 3377.43766 454.08005
60 0.38676 5.13639 3539.65473 525.96156
61 0.32222 5.13639 3539.65473 525.96156
62 0.06453 5.13639 3539.65473 525.96156
63 0.06453 1.03000 3539.65473 524.06984
64 0.00000 1.03000 3539.65473 524.06984
65 1.58315 5.13639 3539.65473 525.96156
66 1.58315 5.13639 3539.65473 525.96156
67 0.00000 5.13639 3539.65473 525.96156
68 0.00000 0.98500 3539.65473 524.04789
69 0.01133 1.03000 3539.65473 524.06984
70 0.01133 1.03000 3539.65473 524.06984
71 0.00000 1.03000 3539.65473 524.06984
72 0.00000 0.98500 3539.65473 524.04789
73 0.01138 1.03000 3539.65473 524.06984
74 0.01138 1.03000 3539.65473 524.06984
75 0.00000 1.03000 3539.65473 524.06984
76 0.00000 0.98500 3539.65473 524.04789
77 0.41530 5.13639 3126.88245 330.15473
78 0.31945 5.13639 3126.88245 330.15473
79 0.09584 5.13639 3126.88245 330.15473
80 0.00100 4.95455 3317.18423 421.44051
81 5.55050 5.13639 3317.18423 421.56137
82 137.60173 4.95455 3134.23225 333.52692
83 8.77098 2.73739 3014.07673 272.30689
84 128.83074 2.66515 2997.68282 264.12503
85 0.00100 2.66515 3014.07673 272.20565
86 8.63317 2.73739 3014.07673 272.30689
87 0.00467 2.73739 3014.07673 272.30689
88 128.83174 2.66515 2997.68295 264.12509
89 7.39061 1.24389 2997.68295 262.00754
90 121.44113 1.24389 2854.13930 189.94416
91 0.00100 1.24389 2997.68295 262.00754
92 7.23852 1.24389 2997.68295 262.00754
93 0.01218 1.24389 2997.68295 262.00754
94 121.44213 1.24310 2854.14048 189.94266
95 121.48619 1.22030 2854.14048 189.88214
96 60.74173 1.22030 2854.14048 189.88214
97 60.74446 1.22030 2854.14048 189.88214
98 2.31085 0.17046 2551.79183 56.67291
99 58.43088 0.15046 2551.79183 54.06169
100 0.00100 0.15046 2551.79183 54.06169
101 2.26096 0.17046 2551.79183 56.67291
102 58.43188 0.15046 2551.79183 54.06169
103 58.43188 0.03883 2417.71922 28.46879
104 2.31306 0.17062 2551.91814 56.69218
105 58.43140 0.15062 2551.91814 54.08313
106 0.00100 0.15062 2551.91814 54.08313
107 2.26310 0.17062 2551.91814 56.69218
108 58.43240 0.15062 2551.91814 54.08313
109 58.43240 0.04076 2422.24477 29.31000
110 0.01218 1.03000 2997.68295 261.68415
111 0.00000 1.03000 2997.68295 261.68415
112 0.00467 1.30000 263.73916 62.99894
113 0.09584 1.03000 3126.88245 326.04698
114 0.00000 1.03000 3126.88245 326.04698
115 0.04000 26.52201 211.52748 49.99961
116 0.00000 0.98500 3430.17401 472.70483

117 0.05451 1.03000 3430.17401 472.73379
118 0.05451 1.03000 3430.17401 472.73379
119 0.00000 1.03000 3430.17401 472.73379
120 0.00000 0.98500 3430.17401 472.70483
121 0.05451 1.03000 3430.17401 472.73379
122 0.05451 1.03000 3430.17401 472.73379
123 0.00000 1.03000 3430.17401 472.73379
124 0.00000 0.98500 3430.17401 472.70483
125 3830.19995 2.50000 31.75235 7.49943
126 3830.19995 2.50000 90.71264 21.59220
127 61.45116 0.03090 144.85248 24.59302
128 61.45116 13.78000 147.48489 34.92832
129 125.83062 13.78000 149.95163 35.51901
130 6.62266 13.78000 149.95163 35.51901
131 0.30000 0.90000 230.23157 54.99906
132 125.83062 13.78000 214.60932 50.99953
133 125.59749 13.78000 214.60932 50.99953
134 0.23313 13.78000 214.60932 50.99953
135 2.51195 13.78000 214.60932 50.99953
136 123.08554 13.78000 214.60932 50.99953
137 2.51195 13.78000 230.53320 54.81027
138 62.73278 13.78000 133.12175 31.48899
139 62.73278 13.78000 133.12175 31.48899
140 0.00000 13.78000 133.12175 31.48899
141 2.26096 0.16535 237.16723 56.03122
142 62.73278 13.78000 216.54354 51.46247
143 134.20956 13.78000 213.59162 50.75595
144 134.20956 13.78000 213.59162 50.75595
145 4.60911 1.00000 223.07991 53.28719
146 134.20956 13.78000 235.50522 55.99988
147 3830.19995 2.50000 95.32896 22.69622
148 67.35278 0.03300 149.46009 25.69744
149 3830.19995 2.50000 30.91308 7.29896
150 67.35278 13.78000 152.08656 36.03024
151 134.20956 13.78000 235.50522 55.99988
152 0.00000 13.78000 235.50522 55.99988
153 134.20956 13.78000 390.71464 93.03449
154 48.10923 1.09959 393.78398 93.99269
155 182.50628 13.78000 392.04364 93.35041
156 40.70305 2.67717 442.28349 105.46671
157 182.50628 13.78000 533.74885 126.85690
158 31.95817 4.76144 556.38949 132.31434
159 182.50628 13.78000 639.09234 151.46147
160 182.50628 13.78000 639.09234 151.46147
161 0.30000 6.11000 2756.28824 159.55013
162 6.27882 6.11000 2756.28824 159.62676
163 183.31876 6.11000 673.52037 159.55013
164 0.95653 6.13150 2756.28824 159.68793
165 0.21803 6.13150 2756.28824 159.68793
166 0.97665 6.13150 2756.28824 159.68793
167 0.18449 6.13150 2756.28824 159.68793
168 0.99986 6.13150 2756.28824 159.68793
169 0.20437 6.13150 2756.28824 159.68793
170 1.03701 6.13150 2756.28824 159.68793
171 0.20437 6.13150 2756.28824 159.68793
172 0.33744 6.13150 2756.28824 159.68793
173 0.41146 6.13150 2756.28824 159.68793
174 0.33716 6.13150 2756.28824 159.68793
175 0.41146 6.13150 2756.28824 159.68793
176 0.95653 1.03000 2756.28824 140.02509

177 0.00000 1.03000 2756.28824 140.02509
178 0.21803 0.98500 2756.28824 139.83601
179 0.00000 0.98500 2756.28824 139.83601
180 0.97665 1.03000 2756.28824 140.02509
181 0.00000 1.03000 2756.28824 140.02509
182 0.18449 0.98500 2756.28824 139.83601
183 0.00000 0.98500 2756.28824 139.83601
184 0.99986 1.03000 2756.28824 140.02509
185 0.00000 1.03000 2756.28824 140.02509
186 0.20437 0.98500 2756.28824 139.83601
187 0.00000 0.98500 2756.28824 139.83601
188 1.03701 1.03000 2756.28824 140.02509
189 0.00000 1.03000 2756.28824 140.02509
190 0.00000 1.03000 3004.46360 265.08360
191 0.20437 0.98500 2756.28824 139.83601
192 0.00000 0.98500 2756.28824 139.83601
193 0.33744 0.04076 2756.28824 135.75204
194 58.76984 0.04076 2424.16275 29.31000
195 58.76984 0.03298 2424.16275 25.68721
196 0.41146 0.98500 2756.28824 139.83601
197 0.00000 0.98500 2756.28824 139.83601
198 0.33716 0.03883 2756.28824 135.74662
199 58.76904 0.03883 2419.66159 28.46879
200 58.76904 0.03088 2419.66159 24.58288
201 0.41146 0.98500 2756.28824 139.83601
202 0.00000 0.98500 2756.28824 139.83601
203 1.63417 0.96000 2756.28824 139.73091
204 0.00000 0.98500 2756.28824 139.83601
205 183.31876 50.00000 681.03434 160.67192
206 2.50600 50.00000 681.03434 160.67192
207 180.81276 50.00000 681.03434 160.67192
208 2.50600 50.00000 681.03434 160.67192
209 180.81276 168.23999 701.34708 163.78087
210 180.81276 168.23999 701.34708 163.78087
211 0.00000 168.23999 701.34708 163.78087
212 26.34773 11.82461 704.15146 166.50839
213 180.81276 168.23999 762.21242 177.89100
214 23.52198 25.67330 864.58566 202.64970
215 180.81276 168.23999 889.06785 206.80439
216 13.77658 39.47992 955.45465 222.50393
217 180.81276 168.23999 1073.20947 247.20198
218 180.81276 168.23999 1073.20947 247.20198
219 48.10923 12.00000 395.73674 94.26030
220 2.26310 0.16550 237.24786 56.05041
221 62.73278 13.78000 216.62406 51.48174
222 123.08554 13.78000 131.13162 31.01245
223 1.63417 0.96000 205.14694 48.99972
224 1.63417 0.96000 205.14694 48.99972
225 0.23313 13.78000 214.60932 50.99953
226 4.60911 1.03000 2679.84996 101.91070
227 6.62266 13.78000 155.99150 36.96532
195695.23 0.00
0.00 0.00 0.00 0.00
2.57 2.00
0.00 0.00 0.97 0.0

Załącznik 3 Opis działania procedury diagnostycznej z odniesieniem do schematu ideowego metody

Opis działania schematu ideowego

Pierwszym etapem w przedstawionym na rys. 13 było wyodrębnienie symptomów, które posłużyły do stworzenia syndromu degradacji. Rzeczywisty syndrom uzyskuje się z pomiarów, a w przypadku testowym pochodzi ona z symulacji dla rozważanych degradacji.

Kolejnym krokiem było wybranie degradujących się parametrów turbinowych, a są nimi geometryczne oraz konstrukcyjne parametry. Dla tych parametrów przyjęto wartości minimalne odpowiadające ich wartością nominalnym. Przez wartości nominalne rozumie się wartości odpowiadające poprawnej geometrii turbiny, podawane są one przez twórcę turbiny na początku jej pracy lub w momencie przeprowadzenia remontu podawane są one ponownie. Rozmiar degradacji którego nie można przekroczyć przyjęty jest dla maksymalnych wartości parametrów, przy czym przyjęto, że stu procentowe degradacje elementów geometrycznych nie będą powodować zagrożenia użytkowania turbiny.

Następny etap polega na dokonaniu zamiany wartości dziesiętnych na liczby binarne dla minimalnych i maksymalnych wartości degradacji. Każda cyfra występująca w zapisie binarnym może być traktowana jako gen. Każdy gen może ulegać modyfikacją spełniając założenie, że liczby binarne stworzone po modyfikacji genów nie będą przekraczać wartości minimalnych i maksymalnych dla parametrów geometrycznych i konstrukcyjnych. Procedura ta pozwala na przeprowadzenie krzyżowania na liczbach binarnych dla degradujących się parametrów. Wszystkie te czynności pozwalają na stworzenie populacji binarnych o odpowiedniej liczbie genów charakterystycznej dla danego zadania diagnostycznego.

Po utworzeniu populacji składającej się z liczb binarnych powraca się z powrotem na reprezentowanie liczb w formie dziesiętnej. Populacja składająca się z powrotem z liczb dziesiętnych wprowadzana jest do programu numerycznego DIAGAR, gdzie po przeprowadzeniu obliczeń otrzymuje się plik z obliczonymi parametrami występującymi na odpowiednich łukach w schemacie numerycznym przykład takiego pliku przedstawia załącznik 2. Na podstawie trzymany danych po dokonaniu obliczeń dla odpowiednich parametrów otrzymuje się zbiór złożony z symulowanych syndromów degradacji.

Przeprowadzenie procedury porównania zadanego syndromu z symulowanym syndromem. Następnie dochodzi do selekcji, czyli odrzucenia syndromów znacznie różniących się od zadanego. Sprawdzeniu ulega też syndrom znajdujący się najbliżej zadanego i jeżeli spełnia narzucony warunek zbieżności to uważa się że procedura diagnostyczna w takim momencie jest spełniona. Przypadek, w którym zbieżność ta nie jest osiągnięta należy ponownie określić wartości minimum i maksimum degradacji a także powtórzyć całą omówioną procedurę diagnostyczną od momentu zamiany liczb dziesiętnych na wartości binarne.

Załącznik 4 Analiza procesu selekcji zastosowanego w metodzie diagnostyki cieplno-przepływowej

Załącznik ten przedstawia podejścia do procesu selekcji jakie były rozważane w trakcie prac badawczych. Pierwsze podejście w celu uzyskania rozwiązania procesu selekcji oparto o wykorzystanie w tym celu opracowań statystycznych. Pierwszym założeniem było podzielenie procesu selekcji na dwa etapy:

- selekcja wstępna przeprowadzona na podstawie wybranych charakterystyk;
- selekcja końcowa przeprowadzona na podstawie pełnych syndromów;

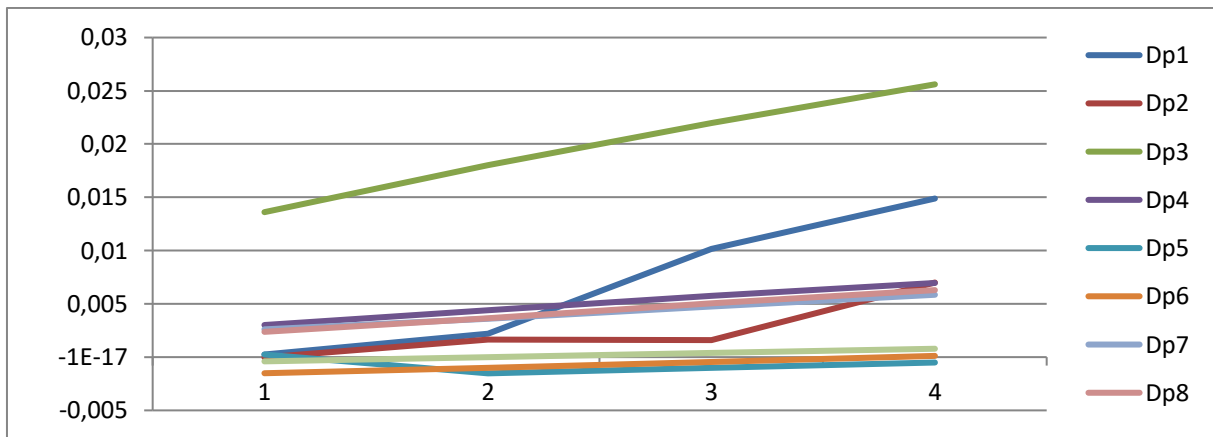
W celu dokonania wstępnej selekcji posłużono się wybranymi charakterystykami których zadaniem była kontrola:

- sprawnościowa;
- kurtozy;
- mocy;
- skośności;
- pełnego syndromu.

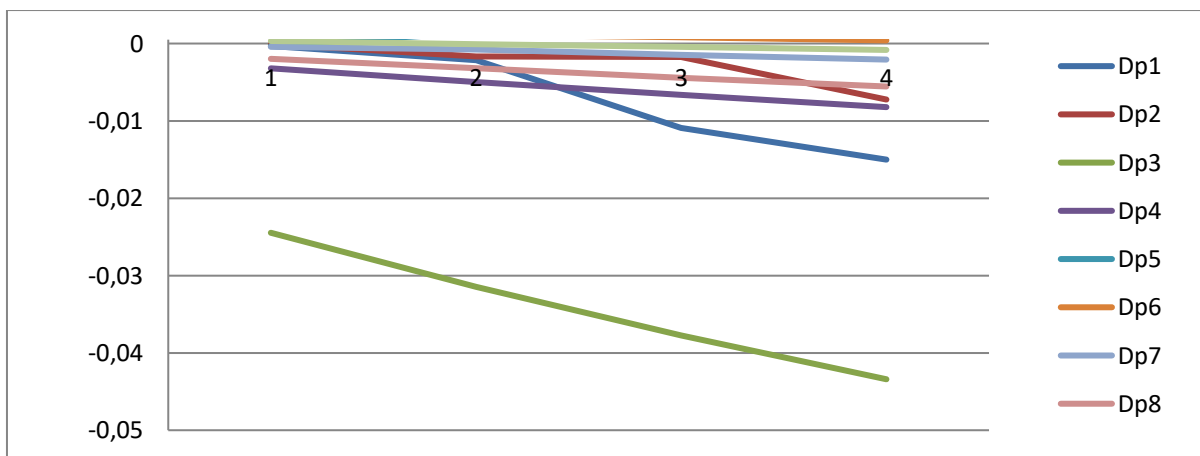
Wybrane charakterystyki dla każdej przeprowadzonej procedury selekcji zostały zaprezentowane na rysunkach rys. 73, - rys. 78. Tab. 42 przedstawia oznaczenia symboli użytych na wspomnianych rysunkach. Taki sposób przeprowadzenia procesu selekcji sprawdził się tylko w przypadku jednokrotnych degradacji. W przypadku degradacji wielokrotnych metody te nie przynosił rezultatów w związku z tym należało zmienić sposób postępowania w selekcji który to został przedstawiony w kolejnej części pracy.

Tab. 42 Opis degradacji użytych do procedury selekcji dla rys. 73 - rys. 78

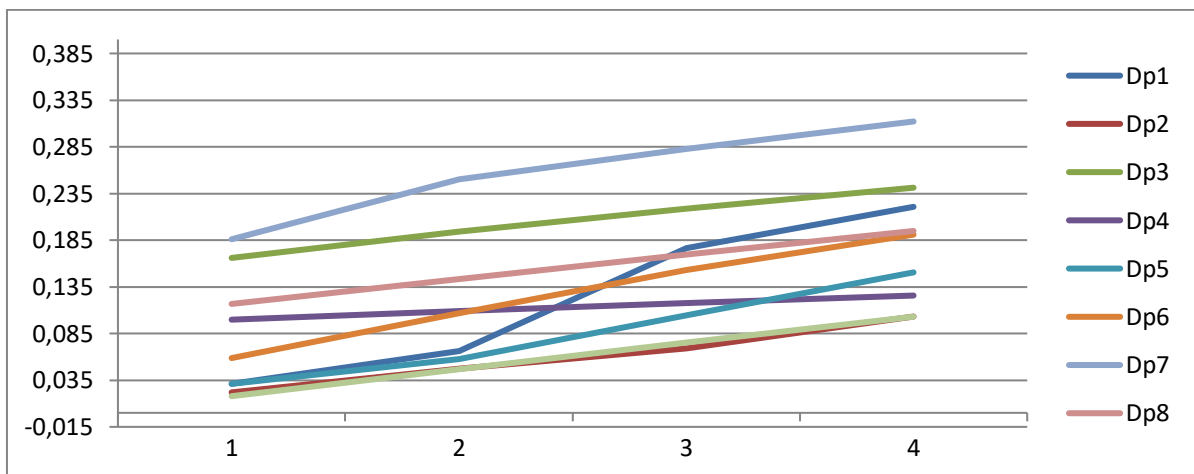
| Symbol | Opis degradacji |
|-------------|--|
| Dp1 | Degradacja luzu w uszczelnieniu skrzynki dyszowej zaworu regulacyjnego WP. |
| Dp2 | Degradacja luzu w uszczelnieniu zewnętrznym kadłuba WP. |
| Dp3 | Degradacja luzu w uszczelnieniu 1 GS WP. |
| Dp4 | Degradacja luzu w uszczelnieniu 2 GS WP. |
| Dp5 | Degradacja luzu w uszczelnieniu skrzynki dyszowej zaworu regulacyjnego SP. |
| Dp6 | Degradacja luzu w uszczelnieniu zewnętrznym kadłuba SP. |
| Dp7 | Degradacja luzu w uszczelnieniu 3 GS SP. |
| Dp8 | Degradacja luzu w uszczelnieniu 4 GS SP. |
| Dp9 | Degradacja luzu w uszczelnieniu 5 GS SP. |
| Dp10 | Degradacja luzu w uszczelnieniu 6 GS SP. |



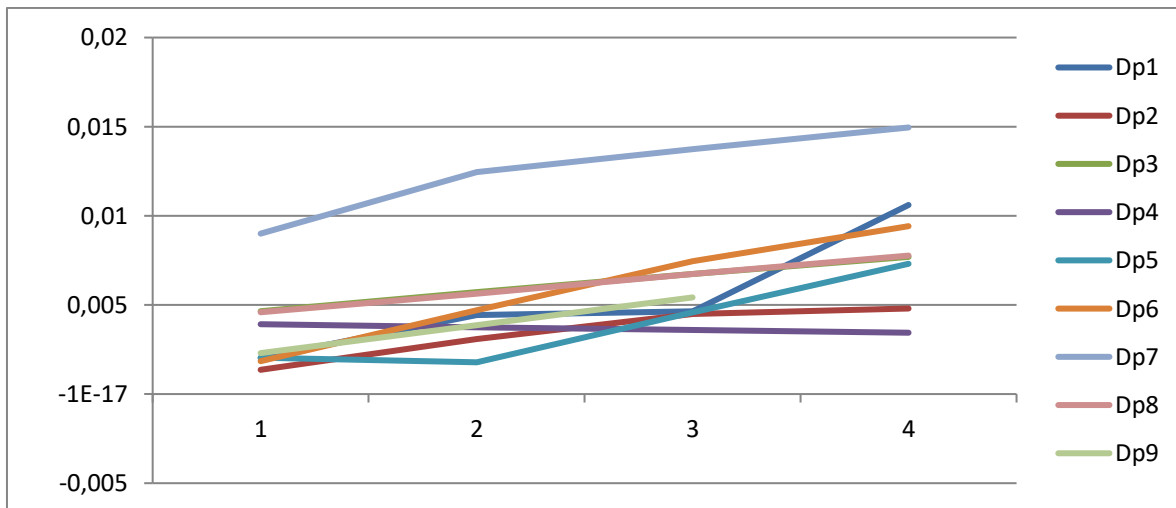
Rys. 73 Charakterystyki przedstawiające proces selekcji dla jednostkowego zużycia ciepła.



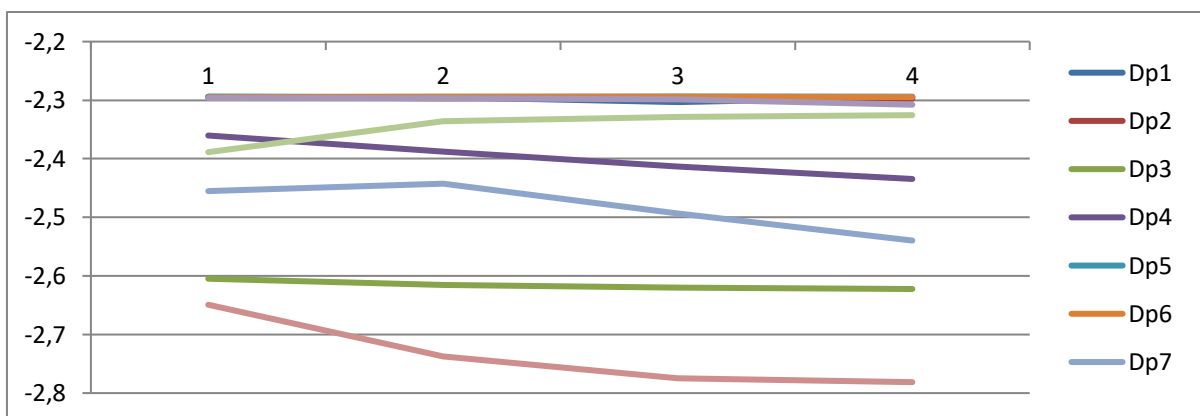
Rys. 74 Charakterystyki przedstawiające proces selekcji dla mocy.



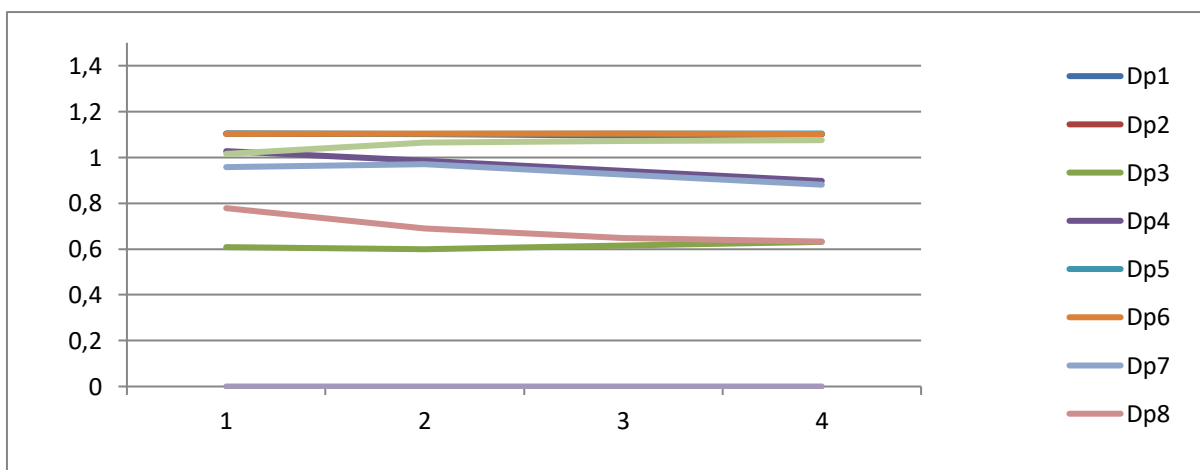
Rys. 75 Charakterystyki przedstawiające proces selekcji dla wartości sumarycznej.



Rys. 76 Charakterystyki przedstawiające proces selekcji dla wartości średniej.

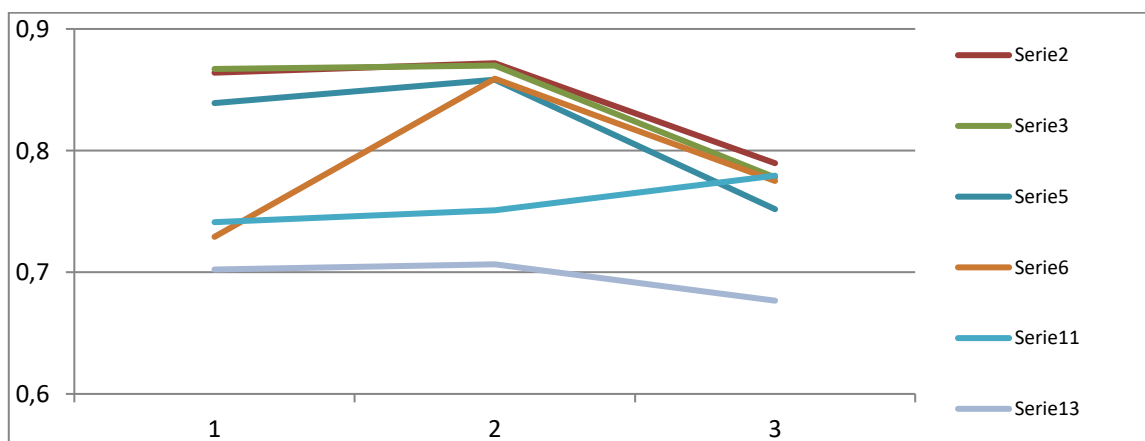


Rys. 77 Charakterystyki przedstawiające proces selekcji dla kurtozy.



Rys. 78 Charakterystyki przedstawiające proces selekcji dla skośności.

Kolejna rozważana metoda przeprowadzenia selekcji, lecz metoda ta nie przyniosła zamierzonego wyniku. Pierwsza procedura miała za zadanie określić udział procentowy poszczególnych symptomów w bezwzględnej sumarycznej odchyłce przedstawianej przez symptomy. Dokonano pierwszego podziału symptomów poprzez określenie ich wielkości dla kadłuba części wysokoprężnej (WP) oraz średnioprężnej (SP). Wyniki dla wybranych symptomów zaprezentowano na Rys. 79. [152]



Rys. 79 Udział symptomów dotyczących kadłuba WP w sumarycznej odchyłce dla różnych degradacji opisanych seriami danych i rozmiarami degradacji względem wartości maksymalnej degradacji; 1 – 25% degradacji, 2 – 50% degradacji, 3 – 75% degradacji. Gdzie numer serii oznacza numer jednego z 22 parametrów.

Drugą badaną procedurą była charakterystyka przedstawiająca uszeregowane malejące wartości symptomów. Sposób uszeregowania może oddziaływać na określenie wag pozwalających zwiększyć szanse na wylosowanie danej konfiguracji w następnej przeprowadzonej operacji losowania w ramach stworzonego algorytmu genetycznego. Przykłady uszeregowania przedstawiono w tab. 43, tab. 44.

Tab. 43 Przedstawienie uszeregowania symptomów w sygnaturze degradacji przy pierwszym typie degradacji.

| Numer symptomu w syndromie | Nazwa symptomu w syndromie degradacji | Kolejność | Kolejne numery uszeregowanych symptomów od najbardziej znaczących w syndromie | | | |
|----------------------------|---------------------------------------|-----------|---|---------------------|---------------------|----------------------|
| | | | przy degradacji 25% | przy degradacji 50% | przy degradacji 75% | przy degradacji 100% |
| 3 | Odchyłka temperatury w upuście I WP | 1 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| 4 | Odchyłka ciśnienia w upuście I WP | 2 | 3 | 14 | 14 | 6 |
| 5 | Odchyłka temperatury w upuście II WP | 3 | 14 | 3 | 16 | 16 |
| 6 | Odchyłka ciśnienia w upuście II WP | 4 | 16 | 16 | 16 | 16 |
| 7 | Odchyłka temperatury w upuście III SP | 5 | 16 | 16 | 12 | 4 |
| 8 | Odchyłka ciśnienia w upuście III SP | 6 | 12 | 12 | 10 | 14 |
| 9 | Odchyłka temperatury w upuście IV SP | 7 | 7 | 10 | 6 | 14 |
| 10 | Odchyłka ciśnienia w upuście IV SP | 8 | 10 | 8 | 8 | 3 |
| 11 | Odchyłka temperatury w upuście V SP | 9 | 8 | 4 | 9 | 12 |

| | | | | | | |
|----|---------------------------------------|----|----|----|----|----|
| 12 | Odchyłka ciśnienia w upuście V SP | 10 | 6 | 6 | 4 | 12 |
| 13 | Odchyłka temperatury w upuście VI SP | 11 | 11 | 7 | 13 | 9 |
| 14 | Odchyłka ciśnienia w upuście VI SP | 12 | 4 | 11 | 13 | 7 |
| 15 | Odchyłka temperatury w upuście VII NP | 13 | 13 | 13 | 3 | 10 |
| 16 | Odchyłka ciśnienia w upuście VII NP | 14 | 13 | 13 | 7 | 10 |

Tab. 44 Prezentacja uszeregowania symptomów w syndromie przy drugim typie degradacji.

| Numer symptomu w syndromie | Nazwa symptomu w syndromie degradacji | Kolejność | Kolejne numery uszeregowanych symptomów od najbardziej znaczących w syndromie | | | |
|----------------------------|---------------------------------------|-----------|---|---------------------|---------------------|----------------------|
| | | | przy degradacji 25% | przy degradacji 50% | przy degradacji 75% | przy degradacji 100% |
| 3 | Odchyłka temperatury w upuście I WP | 1 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| 4 | Odchyłka ciśnienia w upuście I WP | 2 | 3 | 3 | 3 | 6 |
| 5 | Odchyłka temperatury w upuście II WP | 3 | 14 | 14 | 14 | 3 |
| 6 | Odchyłka ciśnienia w upuście II WP | 4 | 16 | 16 | 16 | 4 |
| 7 | Odchyłka temperatury w upuście III SP | 5 | 16 | 16 | 16 | 16 |
| 8 | Odchyłka ciśnienia w upuście III SP | 6 | 7 | 12 | 12 | 16 |
| 9 | Odchyłka temperatury w upuście IV SP | 7 | 12 | 10 | 7 | 14 |
| 10 | Odchyłka ciśnienia w upuście IV SP | 8 | 13 | 7 | 10 | 14 |
| 11 | Odchyłka temperatury w upuście V SP | 9 | 13 | 4 | 8 | 7 |
| 12 | Odchyłka ciśnienia w upuście V SP | 10 | 10 | 8 | 6 | 12 |
| 13 | Odchyłka temperatury w upuście VI SP | 11 | 10 | 6 | 4 | 12 |
| 14 | Odchyłka ciśnienia w upuście VI SP | 12 | 8 | 11 | 11 | 9 |
| 15 | Odchyłka temperatury w upuście VII NP | 13 | 8 | 13 | 13 | 10 |

| | | | | | | |
|----|--|----|---|----|----|----|
| 16 | Odchyłka ciśnienia w upuście VII NP | 14 | 6 | 13 | 13 | 10 |
|----|--|----|---|----|----|----|

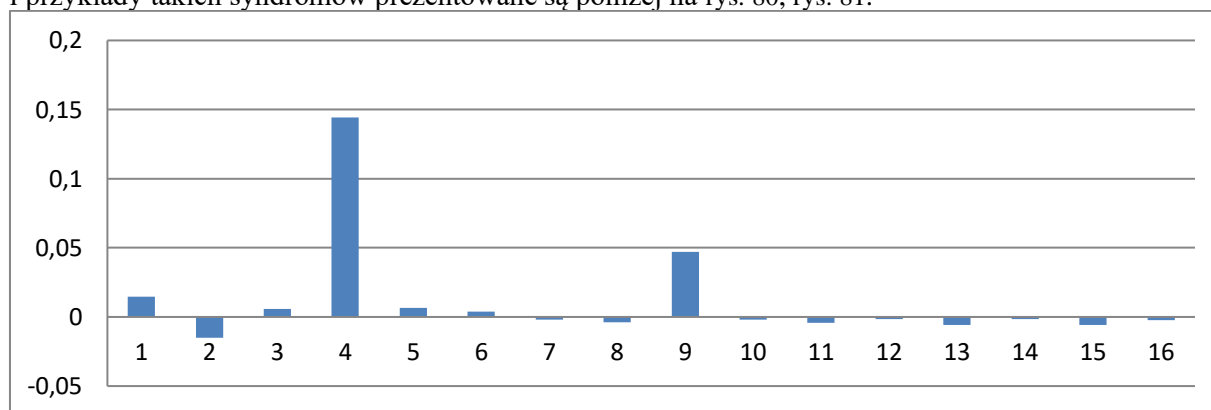
Powyższe przykłady pokazują, że najistotniejsze symptomy dla danego typu degradacji znajdują się prawie zawsze na czele uszeregowanej tabeli symptomów. Nieznaczące symptomy charakteryzujące się małymi wartościami nie mają stałego miejsca w tabeli i często zmieniają swoje położenie. Jednym z powodów takiego umieszczenia symptomów jest występowanie błędu numerycznego metody obliczenia obiegu wywołanego przez bardzo małe wartości liczbowe odchyłek. W celu niwelacji błędu numerycznego należało by uzyskać jeszcze lepszą zbieżność parametrów w programie DIAGAR. Niestety, ale użycie przedstawionej selekcji wspomaganą nie przyniosło zamierzonego efektu co wymusiło poszukiwanie dalszego sposobu dokonania selekcji.

Załącznik 5 Opis syndromów degradacji wyznaczanych przez zbudowaną metodę diagnostyki cieplno-przepływowej

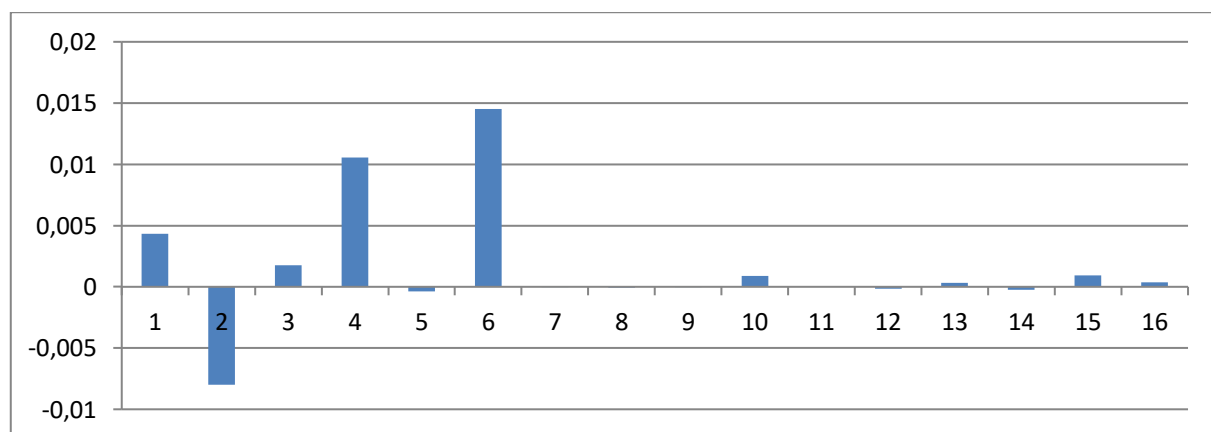
W załączniku tym zostaną przedstawione przykładowe syndromy degradacji dla turbiny parowej.

Syndrom dla pojedynczych degradacji

Prezentowane symulowane pojedyncze syndromy wyliczane są tylko dla jednego parametru i przykłady takich syndromów prezentowane są poniżej na rys. 80, rys. 81.



Rys. 80 Symulowany syndrom dla pojedynczej degradacji przedstawiająca luz w uszczelnieniu skrzynki dyszowej zaworu regulacyjnego turbiny wysokoprężnej.



Rys. 81 Symulowany syndrom dla pojedynczej degradacji przedstawiająca chropowatość układu łopatkowego 1 grupy stopni turbiny WP.

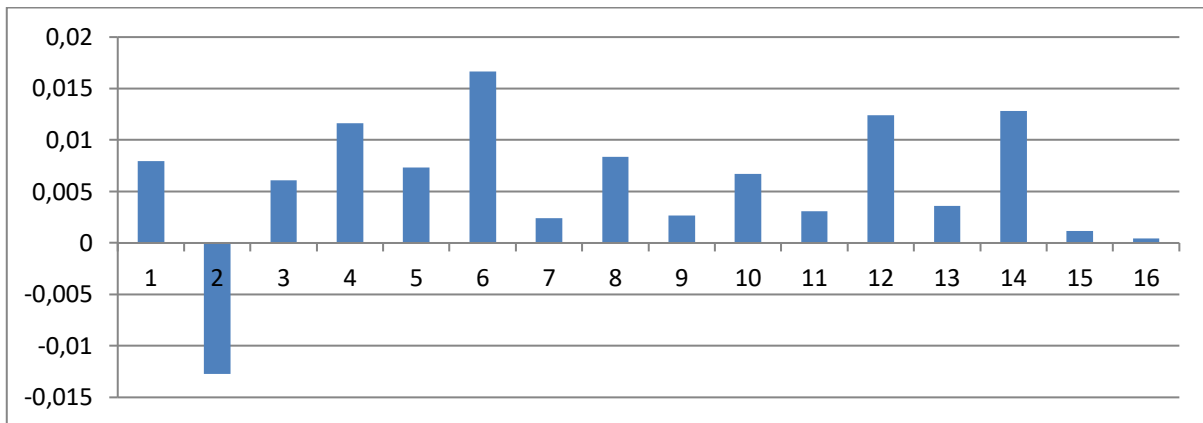
Syndrom dla wielokrotnych degradacji

Zaprezentowano przykładowe otrzymane w formie symulacji wielokrotne degradacje. Degradacje te przedstawione są na poniższych rysunkach:

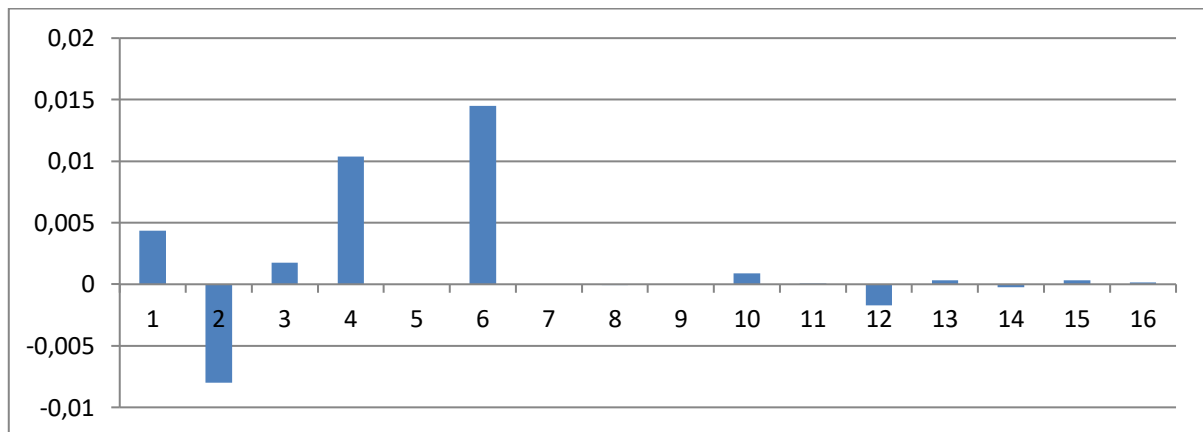
- degradacje dwukrotne rys. 82, rys. 83;
- degradacje potrójne rys. 84, rys. 85;

- degradacje poczwórne rys. 86, rys. 87.

Syndrom dla podwójnych degradacji

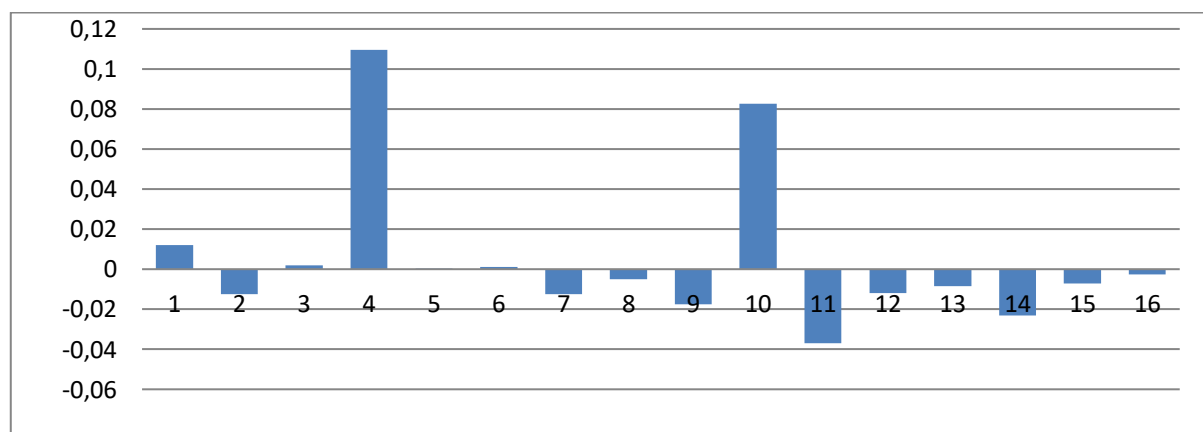


Rys. 82 Symulowany syndrom dla podwójnych degradacji otrzymany dla zmiany parametrów chropowatości układu łopatkowego 1 grupy stopni części WP oraz chropowatości układu łopatkowego 3 grupy stopni części SP.

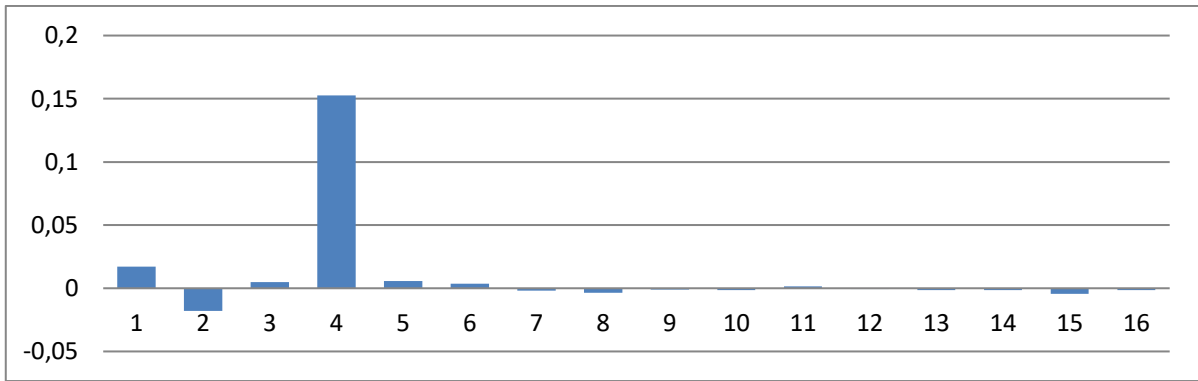


Rys. 83 Symulowany syndrom dla podwójnych degradacji otrzymany dla zmiany parametrów luzu w uszczelnieniu skrzynki dyszowej zaworu regulacyjnego części SP oraz chropowatości układu łopatkowego 1 grupy stopni części WP.

Potrójne degradacje

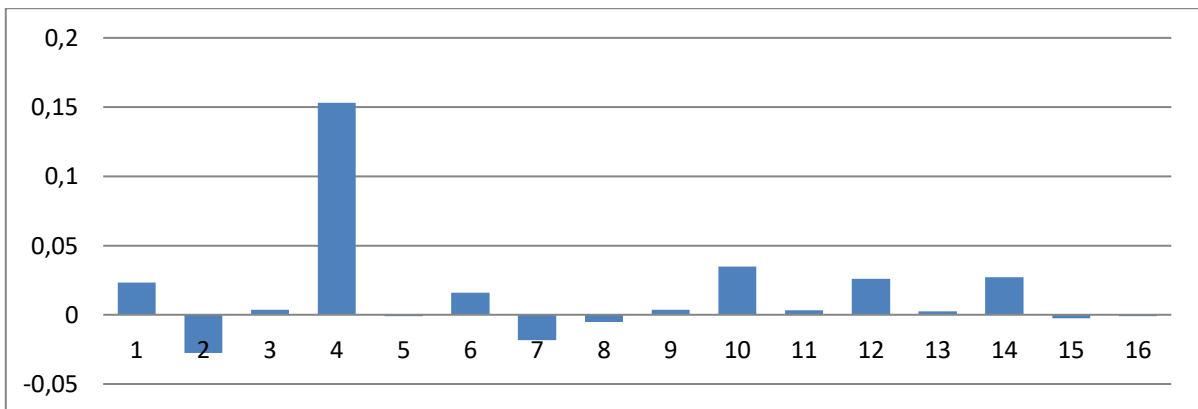


Rys. 84 Symulowany syndrom dla potrójnych degradacji otrzymany dla luzu w uszczelnieniu skrzynki dyszowej zaworu regulacyjnego WP, luzu w uszczelnieniu skrzynki dyszowej zaworu regulacyjnego SP oraz krawędzi spływu 6 grupy stopni części SP

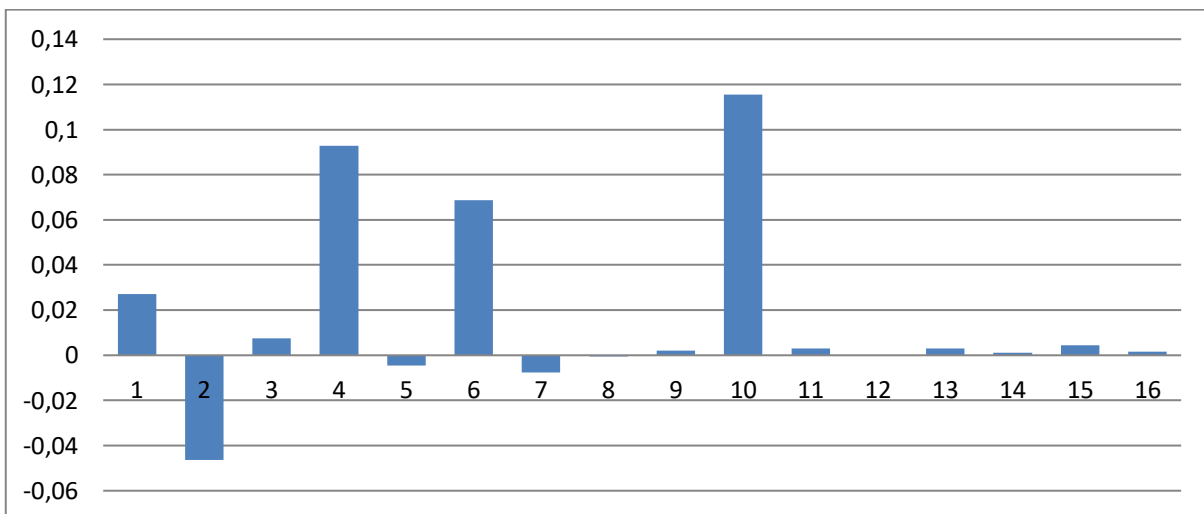


Rys. 85 Symulowany syndrom dla potrójnych degradacji otrzymany dla chropowatości układu łopatkowego 6 grupy stopni części SP, luzu w uszczelnieniu zewnętrznym kadłuba WP oraz luzu w uszczelnieniu skrzynki dyszowej zaworu regulacyjnego WP.

Poczwórne degradacje



Rys. 86 Symulowany syndrom dla poczwórnych degradacji otrzymany dla luzu w uszczelnieniach 2 grupy stopni części WP, chropowatość układu łopatkowego 1 grupy stopni części WP, luzu w uszczelnieniach zewnętrznych kadłuba WP, luzu w uszczelnieniach skrzynki dyszowej zaworu regulacyjnego WP oraz luzu w uszczelnieniach 4 grupy stopni części SP



Rys. 87 Symulowany syndrom dla poczwórnych degradacji otrzymany dla luzu w uszczelnieniu 2 grupy stopni części WP, luz w uszczelnieniach wewnętrznych kadłuba WP, Chropowatość układu łopatkowego 1 grupy stopni części WP, luzu w uszczelnieniach zewnętrznych kadłuba SP.

Załącznik 6 Tabelaryczna prezentacja wyników procedury diagnostycznej dla degradacji jednokrotnych

W tab. 45 przedstawiono większą liczbę przypadków niż w rozdziale dotyczącym analizy, ponieważ w analizie rozważano tylko jedną zmianę procentową uszkodzenia elementu geometrycznego. W tym miejscu pracy dokonano większej liczby operacji na różnych wartościach procentowych dla jednego degradującego się elementu turbiny cieplnej.

Tab. 45 Zbiór pozyskanych wyników działania zbudowanej procedury diagnostycznej wskazujący lokalizację i identyfikację przyczyn degradacji pojedynczych

| Wyróżniki potencjalnych przyczyn pojedynczej degradacji | | 01 | 02 | 03 | 04 | 05 | 06 | 07 | 08 | 09 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | | | | |
|---|----------|------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|--|-------------|---------------|---------------|
| 1 | zadane | wsk. degradacji | X | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | degradacja proc. | 10 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | diagnoza | wsk. degradacji | X | X | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | lokalizacja | | |
| | | degradacja proc. | 7 | 6 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | identyfikacja | |
| 2 | zadane | wsk. degradacji | X | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | degradacja proc. | 87 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2 | diagnoza | wsk. degradacji | X | X | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | lokalizacja | |
| | | degradacja proc. | 65 | 47 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | identyfikacja |
| 3 | zadane | wsk. degradacji | | X | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | degradacja proc. | | 10 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3 | diagnoza | wsk. degradacji | | X | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | lokalizacja |
| | | degradacja proc. | | 10 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | identyfikacja |
| 4 | zadane | wsk. degradacji | | | X | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | degradacja proc. | | | 10 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4 | diagnoza | wsk. degradacji | | | X | X | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | lokalizacja |
| | | degradacja proc. | | | 9 | 8 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 5 | zadane | wsk. degradacji | | | X | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | degradacja proc. | | | 54 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 5 | diagnoza | wsk. degradacji | | | X | X | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | lokalizacja |
| | | degradacja proc. | | | 50 | 38 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 6 | zadane | wsk. degradacji | | | | X | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | degradacja proc. | | | | 80 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 6 | diagnoza | wsk. degradacji | | | | X | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | lokalizacja |
| | | degradacja proc. | | | | 80 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 7 | zadane | wsk. degradacji | | | | | X | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | degradacja proc. | | | | | 10 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 7 | diagnoza | wsk. degradacji | | | | X | X | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | lokalizacja |
| | | degradacja proc. | | | | 2 | 10 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 7 | zadane | wsk. degradacji | | | | | X | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----|----------|---------------------|--|--|--|--|----|----|----|----|----|---|--|--|--|--|--|--|--|---------------|
| | | degradacja proc. | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | diagnoza | wsk. degradacji | | | | | X | X | | X | | | | | | | | | | lokalizacja |
| | | degradacja proc. | | | | | 14 | 40 | | 20 | | | | | | | | | | identyfikacja |
| 8 | zadane | wsk. degradacji | | | | | | X | | | | | | | | | | | | |
| | | degradacja proc. | | | | | | | 87 | | | | | | | | | | | |
| | diagnoza | wsk. degradacji | | | | | X | X | | X | | | | | | | | | | lokalizacja |
| | | degradacja proc. | | | | | 14 | 66 | | 28 | | | | | | | | | | identyfikacja |
| 9 | zadane | wsk. degradacji | | | | | | | | X | | | | | | | | | | |
| | | degradacja proc. | | | | | | | | 8 | | | | | | | | | | |
| | diagnoza | wsk. degradacji | | | | | | | | X | | | | | | | | | | lokalizacja |
| | | degradacja proc. | | | | | | | | 8 | | | | | | | | | | identyfikacja |
| 10 | zadane | wsk. degradacji | | | | | | | | X | | | | | | | | | | |
| | | degradacja proc. | | | | | | | | 25 | | | | | | | | | | |
| | diagnoza | wsk. degradacji | | | | | | | | X | | | | | | | | | | lokalizacja |
| | | degradacja proc. | | | | | | | | 25 | | | | | | | | | | identyfikacja |
| 11 | zadane | wsk. degradacji | | | | | | | | X | | | | | | | | | | |
| | | degradacja proc. | | | | | | | | 41 | | | | | | | | | | |
| | diagnoza | wsk. degradacji | | | | | | | | X | | | | | | | | | | lokalizacja |
| | | degradacja proc. | | | | | | | | 41 | | | | | | | | | | |
| 12 | zadane | wsk. degradacji | | | | | | | | X | | | | | | | | | | |
| | | degradacja proc. | | | | | | | | 62 | | | | | | | | | | |
| | diagnoza | wsk. degradacji | | | | | | | | X | X | | | | | | | | | lokalizacja |
| | | degradacja proc. | | | | | | | | 26 | 26 | | | | | | | | | identyfikacja |
| 13 | zadane | wsk. degradacji | | | | | | | | | X | | | | | | | | | |
| | | degradacja proc. | | | | | | | | | 10 | | | | | | | | | |
| | diagnoza | wsk. degradacji | | | | | | | | X | X | | | | | | | | | lokalizacja |
| | | degradacja proc. | | | | | | | | 6 | 5 | | | | | | | | | identyfikacja |
| 14 | zadane | wsk. degradacji | | | | | | | | | X | | | | | | | | | |
| | | degradacja proc. | | | | | | | | | 54 | | | | | | | | | |
| | diagnoza | wsk. degradacji | | | | | | | | X | X | | | | | | | | | lokalizacja |
| | | degradacja proc. | | | | | | | | 30 | 32 | | | | | | | | | identyfikacja |
| 15 | zadane | wsk. degradacji | | | | | | | | | X | | | | | | | | | |
| | | degradacja proc. | | | | | | | | | 87 | | | | | | | | | |
| | diagnoza | wsk. degradacji | | | | | | | | X | 10 | | | | | | | | | lokalizacja |
| | | degradacja proc. | | | | | | | | 50 | 51 | | | | | | | | | identyfikacja |
| 16 | zadane | wsk. degradacji | | | | | | | | | | X | | | | | | | | |
| | | degradacja proc. | | | | | | | | | 10 | | | | | | | | | |
| | diagnoza | wsk. degradacji | | | | | | | | | X | | | | | | | | | lokalizacja |
| | | degradacja proc. | | | | | | | | | 10 | | | | | | | | | identyfikacja |
| 17 | zadane | wsk. degradacji | | | | | | | | | X | | | | | | | | | |

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----|----------|------------------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|----|----|---|----|---------------|
| | | degradacja proc. | | | | | | | | | | | | | | | | | | 21 | | | | |
| | diagnoza | wsk. degradacji | | | | | | | | | | | | | | | | | | X | | | | lokalizacja |
| | | degradacja proc. | | | | | | | | | | | | | | | | | | 21 | | | | identyfikacja |
| 23 | zadane | wsk. degradacji | | | | | | | | | | | | | | | | | | X | | | | |
| | | degradacja proc. | | | | | | | | | | | | | | | | | | 10 | | | | |
| 23 | diagnoza | wsk. degradacji | | | | | | | | | | | | | | | | | | X | | | | lokalizacja |
| | | degradacja proc. | | | | | | | | | | | | | | | | | | 10 | | | | identyfikacja |
| 24 | zadane | wsk. degradacji | | | | | | | | | | | | | | | | | | X | | | | |
| | | degradacja proc. | | | | | | | | | | | | | | | | | | 54 | | | | |
| 24 | diagnoza | wsk. degradacji | | | | | | | | | | | | | | | | | | X | X | | | lokalizacja |
| | | degradacja proc. | | | | | | | | | | | | | | | | | | 12 | 11 | | | identyfikacja |
| 25 | zadane | wsk. degradacji | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | X | | |
| | | degradacja proc. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 42 | |
| 25 | diagnoza | wsk. degradacji | | | | | | | | | | | | | | | | | | X | X | | | lokalizacja |
| | | degradacja proc. | | | | | | | | | | | | | | | | | | 32 | 32 | | | |

Załącznik 7 Tabelaryczna prezentacja wyników procedury diagnostycznej dla degradacji dwukrotnych

Tab. 46 prezentuje wynikowy zbiór wskazujący lokalizację i identyfikację degradacji dwukrotnych.

Tab. 46 Zbiór pozyskanych wyników działania zbudowanej procedury diagnostycznej wskazujący lokalizację i identyfikację przyczyn degradacji podwójnych.

| Wyróżniki potencjalnych przyczyn podwójnej degradacji | | | 01 | 02 | 03 | 04 | 05 | 06 | 07 | 08 | 09 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | |
|---|----------|------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|---------------|
| 1 | zadane | wsk. degradacji | | | | | | X | | | | X | | | | | | | | | | | | | |
| | | degradacja proc. | | | | | | 32 | | | | 18 | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | diagnoza | wsk. degradacji | | | | | | X | | | | X | | | | | | | | | | | | | lokalizacja |
| | | degradacja proc. | | | | | | 24 | | | | 18 | | | | | | | | | | | | | identyfikacja |
| 2 | zadane | wsk. degradacji | | | | | X | X | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | degradacja proc. | | | | | 14 | 66 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2 | diagnoza | wsk. degradacji | | | | | X | X | | X | | | | | | | | | | | | | | | lokalizacja |
| | | degradacja proc. | | | | | 14 | 66 | | 28 | | | | | | | | | | | | | | | identyfikacja |
| 3 | zadane | wsk. degradacji | | | | | | | | | | X | | | X | | | | | | | | | | |
| | | degradacja proc. | | | | | | | | | | 65 | | | 78 | | | | | | | | | | |
| 3 | diagnoza | wsk. degradacji | | | | | | | | | X | X | | | X | | | | | | | | | | lokalizacja |
| | | degradacja proc. | | | | | | | | | 33 | 40 | | | 78 | | | | | | | | | | identyfikacja |
| 4 | zadane | wsk. degradacji | | | | | | | | | X | | | | | | | | | | | | X | | |
| | | degradacja proc. | | | | | | | | | 15 | | | | | | | | | | | | 87 | | |
| 4 | diagnoza | wsk. degradacji | | | | | | | | | | X | | | | | | | | | | | X | X | lokalizacja |
| | | degradacja proc. | | | | | | | | | | 11 | | | | | | | | | | | 24 | 23 | identyfikacja |
| 5 | zadane | wsk. degradacji | | X | | | | X | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | degradacja proc. | | 26 | | | | 68 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 5 | diagnoza | wsk. degradacji | | | X | | | X | | X | | | | | | | | | | | | | | | lokalizacja |
| | | degradacja proc. | | | 10 | | | 24 | | 67 | | | | | | | | | | | | | | | identyfikacja |
| 6 | zadane | wsk. degradacji | | | X | | | X | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | degradacja proc. | | | 15 | | | 48 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 6 | diagnoza | wsk. degradacji | | | X | | X | X | | X | | | | | | | | | | | | | | | lokalizacja |
| | | degradacja proc. | | | 15 | | 7 | 33 | | 23 | | | | | | | | | | | | | | | identyfikacja |
| 7 | zadane | wsk. degradacji | X | X | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | degradacja proc. | 32 | 54 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 7 | diagnoza | wsk. degradacji | X | X | X | | | | | | | | | | | | | | | | X | | | X | lokalizacja |
| | | degradacja proc. | 28 | 28 | 19 | | | | | | | | | | | | | | | | | 8 | | 15 | identyfikacja |
| 7 | zadane | wsk. degradacji | | | | | | | | | X | | | | | | | | | | | | X | | |
| | | degradacja proc. | | | | | | | | | 37 | | | | | | | | | | | | 54 | | |

Załącznik 8 Tabelaryczna prezentacja wyników procedury diagnostycznej dla degradacji trzykrotnych

Tab. 47 prezentuje wynikowy zbiór wskazujący lokalizację i identyfikację degradacji potrójnych.

Tab. 47 Zbiór pozyskanych wyników działania zbudowanej procedury diagnostycznej wskazujący lokalizację i identyfikację przyczyn degradacji potrójnych.

| | | Wyróżniki potencjalnych przyczyn potrójnej degradacji | | 01 | 02 | 03 | 04 | 05 | 06 | 07 | 08 | 09 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | | |
|---|----------|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|---|---------------|
| 1 | zadane | wsk. degradacji | | | | | | | X | | | X | X | | | | | | | | | | | | | | |
| | | degradacja proc. | | | | | | | 34 | | | 41 | 41 | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | diagnoza | wsk. degradacji | | | | | | | X | | | X | X | X | | | X | | | | | | X | | | | lokalizacja |
| | | degradacja proc. | | | | | | | 33 | | | 9 | 6 | 41 | | | 11 | | | | | | 5 | | | | identyfikacja |
| 2 | zadane | wsk. degradacji | X | X | | | | | | | | | | | | | | | | | | | X | | | | |
| | | degradacja proc. | 73 | 43 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 10 | | | | |
| 2 | diagnoza | wsk. degradacji | X | X | | | | X | | | | | | | | | | | | | | | | | X | | lokalizacja |
| | | degradacja proc. | 73 | 45 | | | 2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 5 | identyfikacja |
| 3 | zadane | wsk. degradacji | | | | | | | | | | | X | | | | | X | | | | | | | X | | |
| | | degradacja proc. | | | | | | | | | | | 47 | | | | | 36 | | | | | | | 42 | | |
| 3 | diagnoza | wsk. degradacji | | | | | | | | | | | X | X | | | X | X | | | | | | | X | | lokalizacja |
| | | degradacja proc. | | | | | | | | | | | 14 | 25 | | | 8 | 32 | | | | | | | 48 | | identyfikacja |
| 4 | zadane | wsk. degradacji | X | | | | | | | | X | | | | | | | | | | | | X | | | | |
| | | degradacja proc. | 73 | | | | | | | | 43 | | | | | | | | | | | | 10 | | | | |
| 4 | diagnoza | wsk. degradacji | X | X | | | | | | | X | | | | | | | | | | | | | | X | | lokalizacja |
| | | degradacja proc. | 51 | 47 | | | | | | | 41 | | | | | | | | | | | | | | | 6 | identyfikacja |
| 5 | zadane | wsk. degradacji | | X | | | | | X | | | | | | X | | | | | | | | | | | | |
| | | degradacja proc. | | 20 | | | | | 76 | | | | | | 34 | | | | | | | | | | | | |
| 5 | diagnoza | wsk. degradacji | | | X | | | | X | | | | | | | X | | | | X | | | | | | | lokalizacja |
| | | degradacja proc. | | | 9 | | | | 73 | | | | | | | 15 | | | | 10 | | | | | | | identyfikacja |
| 6 | zadane | wsk. degradacji | | X | | | | | | | | | | | | | X | | X | | | | | | | | |
| | | degradacja proc. | | 20 | | | | | | | | | | | | | 30 | | 28 | | | | | | | | |
| 6 | diagnoza | wsk. degradacji | X | | | | | | | | | | | | | | X | | X | | | | | | | | lokalizacja |
| | | degradacja proc. | 9 | | | | | | | | | | | | | | 31 | | 27 | | | | | | | | identyfikacja |
| 7 | zadane | wsk. degradacji | | | | | | | | | X | | X | | | | | | | | | | X | X | | | |
| | | degradacja proc. | | | | | | | | | 31 | | 15 | | | | | | | | | | 27 | 21 | | | |
| 7 | diagnoza | wsk. degradacji | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | lokalizacja |
| | | degradacja proc. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | identyfikacja |
| 8 | zadane | wsk. degradacji | | | | | | | X | | | | | | | X | | | | | | | X | | | | |
| | | degradacja proc. | | | | | | | 14 | | | | | | | 58 | | | | | | | 6 | | | | |

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|----------|---------------------|----|---|----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|---|----|--|----|---|--|----|---------------|
| | diagnoza | wsk. degradacji | X | X | X | | | | | | | | | | X | X | | X | X | | X | lokalizacja |
| | | degradacja proc. | 31 | 3 | 12 | | | | | | | | | | 9 | 10 | | 12 | 9 | | 19 | identyfikacja |

Załącznik 9 Tabelaryczna prezentacja wyników procedury diagnostycznej dla degradacji czterokrotnych

Tab. 48 prezentuje wynikowy zbiór wskazujący lokalizację i identyfikację degradacji poczwórnych.

Tab. 48 Zbiór pozyskanych wyników działania zbudowanej procedury diagnostycznej wskazujący lokalizację i identyfikację przyczyn degradacji poczwórnych

| Wyróżniki potencjalnych przyczyn poczwórnej degradacji | | 01 | 02 | 03 | 04 | 05 | 06 | 07 | 08 | 09 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | | |
|--|----------|------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|---------------|
| 1 | zadane | wsk. degradacji | X | | | | | | | | X | | | | | | X | | X | | | | | | |
| | | degradacja proc. | 51 | | | | | | | | 25 | | | | | | | 8 | | 64 | | | | | |
| 1 | diagnoza | wsk. degradacji | X | X | | | | | | | X | | X | | | | | | X | | | | | | lokalizacja |
| | | degradacja proc. | 34 | 35 | | | | | | | 25 | | 8 | | | | | | | 64 | | | | | |
| 2 | zadane | wsk. degradacji | | | | | X | | | | X | X | | | | | X | | | | | | | | |
| | | degradacja proc. | | | | | 90 | | | | 85 | 12 | | | | | 26 | | | | | | | | |
| 2 | diagnoza | wsk. degradacji | | | | X | X | | X | X | X | X | | | | | X | | | | | | | | lokalizacja |
| | | degradacja proc. | | | | 13 | 72 | | 26 | 43 | 54 | 12 | | | | | 25 | | | | | | | | |
| 3 | zadane | wsk. degradacji | | | | | | | X | X | | | | | | | | | | X | | | | X | |
| | | degradacja proc. | | | | | | | 32 | 5 | | | | | | | | | | 27 | | | | 54 | |
| 3 | diagnoza | wsk. degradacji | | | | | | | X | | | | | | | | | | | X | X | | X | | lokalizacja |
| | | degradacja proc. | | | | | | | 32 | | | | | | | | | | | 28 | 29 | | 45 | | identyfikacja |
| 4 | zadane | wsk. degradacji | | | | | X | | | | X | | | | X | | | | | | | | | X | |
| | | degradacja proc. | | | | | 32 | | | | 15 | | | | 65 | | | | | | | | | 18 | |
| 4 | diagnoza | wsk. degradacji | | | | X | | | X | X | | | | | X | | | | | | X | | X | | lokalizacja |
| | | degradacja proc. | | | | 31 | | | 11 | 7 | | | | | 61 | | | | | | 22 | | 11 | | identyfikacja |
| 5 | zadane | wsk. degradacji | | X | | X | | | | X | | | | | | | | | | | | | | X | |
| | | degradacja proc. | | 28 | | 87 | | | | 25 | | | | | | | | | | | | | | 64 | |
| 5 | diagnoza | wsk. degradacji | | X | | | | | X | X | | | | | | | | | | | X | | X | | lokalizacja |
| | | degradacja proc. | | 35 | | | | | 7 | 13 | | | | | | | | | | | | 1 | 73 | | identyfikacja |
| 6 | zadane | wsk. degradacji | X | X | | | X | | | | | | | | | | | X | | | | | | | |
| | | degradacja proc. | 9 | 31 | | | 15 | | | | | | | | | | | 47 | | | | | | | |
| 6 | diagnoza | wsk. degradacji | | X | | X | | X | | | | | | | | | | | X | | | | | | lokalizacja |
| | | degradacja proc. | | 19 | | 6 | 23 | | | | | | | | | | | | 47 | | | | | | identyfikacja |
| 7 | zadane | wsk. degradacji | X | X | X | | | | | | | | | X | | | | | | | | | | | |
| | | degradacja proc. | 18 | 38 | 42 | | | | | | | | | | 25 | | | | | | | | | | |
| 7 | diagnoza | wsk. degradacji | X | X | X | | X | | | | | | | | | | | | X | | | | | | lokalizacja |
| | | degradacja proc. | 19 | 35 | 40 | | 17 | | | | | | | | | | | | 25 | | | | | | identyfikacja |
| 8 | zadane | wsk. degradacji | | | | X | | | | | | | | X | | | | | | | X | X | | | |

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----------|---------------------|--|--|--|----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|----|--|--|--|--|--|---|----|---|--|--|---------------|
| | degradacja proc. | | | | 9 | | | | | | | | | | | 65 | | | | | | | 11 | 6 | | | |
| diagnoza | wsk. degradacji | | | | X | | | | | | | | | | | X | | | | | | X | X | | | | lokalizacja |
| | degradacja proc. | | | | 10 | | | | | | | | | | | 65 | | | | | | | 11 | 8 | | | identyfikacja |