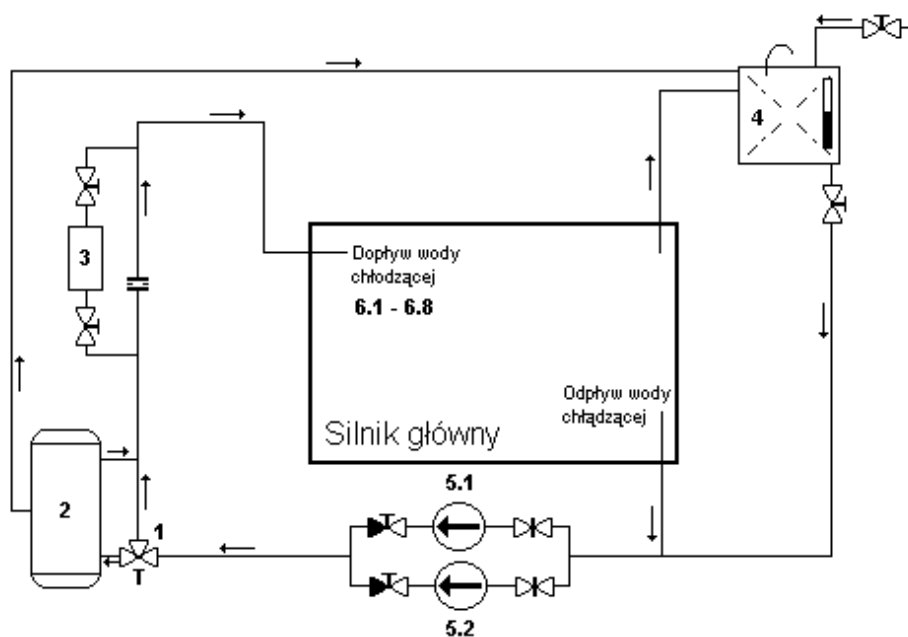


ZASTOSOWANIE DRZEWA USZKODZEŃ DO WYBRANEGO SYSTEMU SIŁOWNI OKRĘTOWEJ

1. Wprowadzenie

Stanem systemu technicznego określa się zbiór wartości wszystkich parametrów określających system w danej chwili t . W ujęciu diagnostycznym jest to zbiór cech stanu oraz parametrów diagnostycznych w danej chwili czasu, istotnych dla jednoznacznego określenia stanu maszyny. Zbiór możliwych stanów systemów technicznych jest zbiorem bardzo licznym, teoretycznie o mocy *continuum* [1, 3]. Dlatego w zastosowaniach praktycznych wszystkie możliwe stany w obiekcie dzieli się zwykle na pewną skończoną liczbę klas. Podstawę klasyfikacji podziału stanowią wymagania użytkowe, nie uwzględniające różnic pomiędzy różnymi stanami w obrębie tej samej klasy stanów. Często zgodnie z postulatami teorii niezawodności oraz dla uniknięcia zbędnego rozdrobnienia i sztucznego nazywania możliwych podziałów, stosuje się rozgraniczenie stanów obiektów technicznych na dwie klasy: *klasę stanów zdolności* i *klasę stanów niezdatności*.



Rys. 1. Instalacja chłodzenia wodą słodką cylindrów silnika głównego
(opis w tekście)

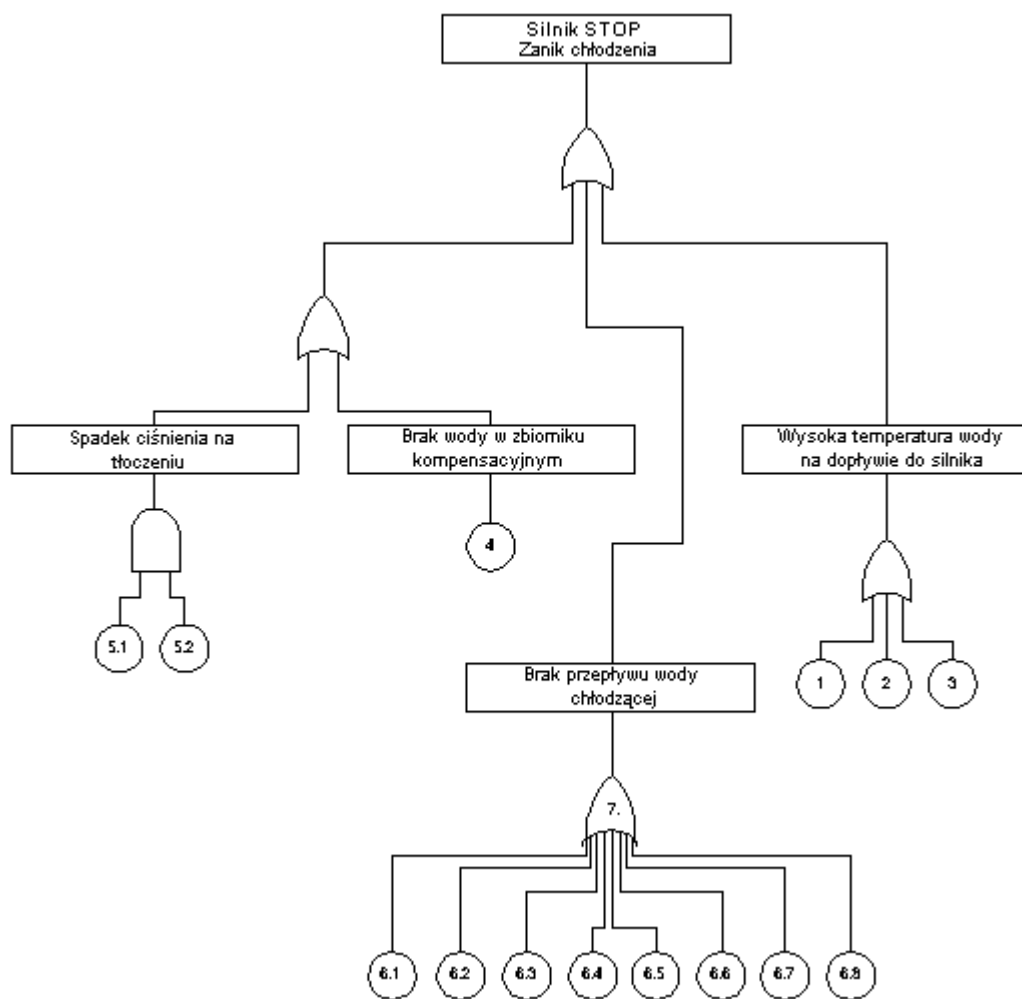
Na rysunku 1 przedstawiono przykładowy uproszczony schemat okrętowej instalacji chłodzenia wodą słodką cylindrów silnika głównego na jednym ze statków PŻM (serii B-591). Obieg wody słodkiej wymuszany jest przez jedną z pomp obiegowych (5.1 lub 5.2), która podaje czynnik przez zawór termostatyczny (1) do chłodnicy (2). Zawór ten rozdziela główny strumień wody na dwa mniejsze – jeden przepływa przez chłodnicę, a drugi omija ją. Proporcja podziału jest zmienna i zależna od temperatury wody na odpływie z silnika, umożliwia to utrzymanie temperatury wody w stałym zakresie 63-65°C. Dla zapewnienia właściwej temperatury wody chłodzenia cylindrów podczas postoju silnika w systemie zainstalowany jest podgrzewacz parowy (3). Woda chłodząca kierowana jest do przestrzeni chłodzących silnika indywidualnych dla każdego cylindra (6.1 – 6.8). Kompensacja zmian objętości czynnika oraz dopełnienie wody w systemie zapewnione są poprzez zbiornik obiegowo-wyrównawczy (4).

2. Metoda drzew uszkodzeń jako pomoc w analizie pracy systemu siłowni

Metoda drzewa uszkodzeń opiera się na szczegółowej, dedukcyjnej analizie systemów pod kątem ich funkcjonowania. Metoda ta znajduje zastosowanie w analizie niezawodności obiektów technicznych na etapie projektowania oraz podczas diagnozowania stanów systemów technicznych podczas ich eksploatacji. Drzewo uszkodzeń stanowi graficzny model logiczny reprezentujący kombinacje możliwych zdarzeń, które mogą wystąpić podczas pracy systemu technicznego i w efekcie mogą doprowadzić do zaistnienia *zdarzenia szczytowego* czyli uszkodzenia systemu technicznego.

Siłownie okrętowe składają się z wielu podsystemów, których poprawna praca i współdziałanie warunkuje spełnienie przez siłownię okrętową jej podstawowych funkcji. Elementy składowe systemów siłowni okrętowych mogą podlegać dynamicznym zmianom czyli tzw. zdarzeniom. Zdarzenia te odzwierciedlają czynniki zewnętrzne (wpływ otoczenia), eksploatacyjne (wpływ budowy elementu, sterowania, obsługi itp.) oraz czynniki związane ze współpracą elementu z innymi podzespołami (wpływ układów pomiarowych, silników elektrycznych itp.).

Na rysunku 2 zaprezentowano przykładowe drzewo uszkodzeń dla wcześniej przedstawionego podsystemu chłodzenia. Oznaczenia zachowano za rysunkiem 1.



Rys. 2. Drzewo uszkodzeń instalacji chłodzenia wodą słodką cylindrów silnika głównego

3. Analiza ilościowa drzewa uszkodzeń systemu siłowni okrętowej

Model matematyczny uszkodzeń elementów systemu technicznego powinien jak najwierniej odwzorowywać rzeczywiste warunki pracy, a jednocześnie powinien być możliwie mało skomplikowany o parametrach łatwych do określenia metodami empirycznymi.

Dla elementów systemów siłowni okrętowej oraz całego systemu siłowni statku przyjmuje się model ciągły.

Funkcja niezawodności $R(t)$ definiowana jest jako prawdopodobieństwo, że system techniczny lub jego element w chwili t nie zostanie uszkodzony [2]. Funkcja ta jest monotoniczną funkcją nierosnącą, którą przedstawia zależność:

$$R(t) = \exp\left[-\int_0^t \lambda(t) dt\right] \quad (3.1)$$

gdzie: $\lambda(t)$ – funkcja intensywności uszkodzeń.

Zakładając, że elementy systemu podlegają rozkładowi wykładniczemu czyli, że uszkodzenie elementu zależne jest tylko od czasu jego pracy tj. $\lambda(t) = \lambda = const$, powyższa zależność przyjmuje postać:

$$R(t) = e^{-\lambda t} \quad (3.2)$$

Prawdopodobieństwo uszkodzenia elementu do chwili t określone jest przez funkcję zawodności $F(t)$, którą można wyznaczyć z zależności:

$$F(t) = 1 - R(t) = 1 - e^{-\lambda t} \quad (3.3)$$

Niezależność funkcji intensywności uszkodzeń od czasu została potwierdzona badaniami empirycznymi dla szerokiego przedziału czasu życia obiektu technicznego, z wyłączeniem początkowego okresu eksploatacji (docieranie mechanizmów) oraz końcowego (gwałtowny wzrost zużycia).

Elementy składowe systemów okrętowych mogą należeć do jednej z dwóch grup:

- grupa elementów nienaprawialnych,
- grupa elementów naprawialnych.

Zdecydowana większość elementów składowych systemów siłowni okrętowej należy się do grupy elementów naprawialnych. Jednak przyjęcie założenia o identyczności charakterystyki elementu po naprawie i elementu nowego pozwala na zaklasyfikowanie elementów systemów okrętowych do grupy elementów nienaprawialnych dzięki czemu znacznie uproszczona jest analiza niezawodnościowa.

W analizie ilościowej drzew uszkodzeń często wykorzystuje się charakterystykę niezawodnościową jaką stanowi *niegotowość operacyjna* $q(t)$. Wielkość ta definiowana jest jako prawdopodobieństwo, że w chwili t element systemu technicznego nie jest w stanie wykonać przewidzianych dla niego zadań. Dla elementów nienaprawialnych, dla których uszkodzenie występuje w chwili t niegotowość operacyjną można przedstawić jako:

$$q(t) = F(t) = 1 - e^{-\lambda t} \quad (3.4)$$

Rozpatrując niegotowość operacyjną elementów naprawialnych, należy uwzględnić czas potrzebny aby przywrócić stan zdadności elementu, w związku z czym $q(t) \neq F(t)$.

Dla elementów składowych, systemów w których uszkodzenia elementów wykrywane są natychmiast po ich zaistnieniu (kontrola ciągła), niegotowość operacyjną można przedstawić równaniem:

$$q(t) = \frac{\lambda \cdot T_D}{1 + \lambda \cdot T_D} \quad (3.5)$$

gdzie: λ - intensywność uszkodzeń,

T_D - średni czas przywrócenia gotowości operacyjnej.

Dla elementów kontrolowanych okresowo w odstępach czasu T , średnią niegotowość operacyjną określa zależność:

$$\bar{q} = \frac{1}{T} \int_0^T q(t) dt = \frac{1}{T} \int_0^T (1 - e^{-\lambda t}) dt = 1 + \frac{1}{\lambda \cdot T} (e^{-\lambda T} - 1) = \frac{\lambda \cdot T}{2!} - \frac{(\lambda \cdot T)^2}{3!} + \frac{(\lambda \cdot T)^3}{4!} - \dots \quad (3.6)$$

Jeżeli $\lambda \cdot T < 0,1$ powyższą zależność można aproksymować według zależności:

$$\bar{q} \approx \frac{\lambda \cdot T}{2} \quad (3.7)$$

Na podstawie charakterystyk niezawodnościowych elementów składowych systemu siłowni okrętowej oraz zbiorów przekrojów minimalnych można wyznaczyć charakterystyki niezawodnościowe systemu technicznego opisanego drzewem uszkodzeń.

Niegotowość cząstkowa systemu $Q(t)$ określa się jako prawdopodobieństwo zdarzenia, że dany system siłowni jest niezdatny w chwili t , pod warunkiem wystąpienia określonego przekroju minimalnego odpowiadającego tej niegotowości cząstkowej. Przez $Q_j(t)$ oznacza się niegotowość operacyjną systemu ze względu na wystąpienie j -tego przekroju minimalnego. Przy założeniu niezależności elementów składowych systemu, występuje zależność:

$$Q_j(t) = q_{1,j}(t) \cdot q_{2,j}(t) \cdot \dots \cdot q_{k,j}(t) = \prod_{n=1}^k q_{n,j}(t) \quad (3.8)$$

gdzie: $q_{n,j}(t)$ – niegotowość operacyjna w chwili t , n -tego elementu w j -tym przekroju minimalnym,

k – liczba elementów w j -tym przekroju minimalnym.

4. Wnioski

W zastosowaniu dla systemów siłowni okrętowej duże znaczenie mają drzewa uszkodzeń w odniesieniu do przyczynowego poziomu analizy niezawodnościowej, z uwagi na potencjalną możliwość wykorzystania ich w analizie funkcjonowania instalacji o dużej złożoności budowy.

Ważną kwestią w przypadku siłowni okrętowych jest zmienność struktury funkcjonalnej poszczególnych systemów podczas ich pracy, która wynika z faktu, iż w przypadku uszkodzenia lub wyłączenia z pracy niektórych elementów ich funkcje są przejmowane przez elementy rezerwowe. W przypadku złożonych obiektów technicznych, efektywna lokalizacja i likwidacja uszkodzenia wymaga znacznej wiedzy personelu. Pomocne mogą tu być algorytmy reprezentowane przez drzewa uszkodzeń. Tendencja do coraz większej komputeryzacji siłowni okrętowych daje możliwość realizacji złożonych algorytmów z wykorzystaniem maszyn liczących.

Literatura

1. Chybowski L.: *Próba zastosowania wybranych testów diagnostycznych do oceny stanu technicznego systemu siłowni okrętowej*. Materiały 22 MSN, Zielona Góra, Maj 2001. Tom Mechanika s. 230-237.
2. Czajgucki J. Z.: *Niezawodność spalinowych siłowni okrętowych*. Wydawnictwo Morskie, Gdańsk 1984.
3. Żółtowski B.: *Podstawy diagnostyki maszyn*. Wydawnictwo Uczelniane Akademii Techniczno-Rolniczej, Bydgoszcz 1996, s. 136-140.

APPLYING OF DAMAGE TREE FOR SELECTED MARINE POWER PLANT SYSTEM

In this paper, fresh water main engine cylinder cooling system installed on one of the PZM ships (B-591 series) was characterized. One of the possible damage trees of this installation was presented. Basic data on quantitative analysis of damage trees for ship power plant installation was introduced.