

SZACOWANIE NIEGOTOWOŚCI SYSTEMU SIŁOWNI OKRĘTOWEJ METODĄ DRZEWA USZKODZEŃ

Summary

The paper contains presentation two different methods for calculating of unavailability of system in Fault Tree Analysis. Simulations of unavailability for example fuel supply system for selected mission time and different operation states were presented.

1. Wprowadzenie

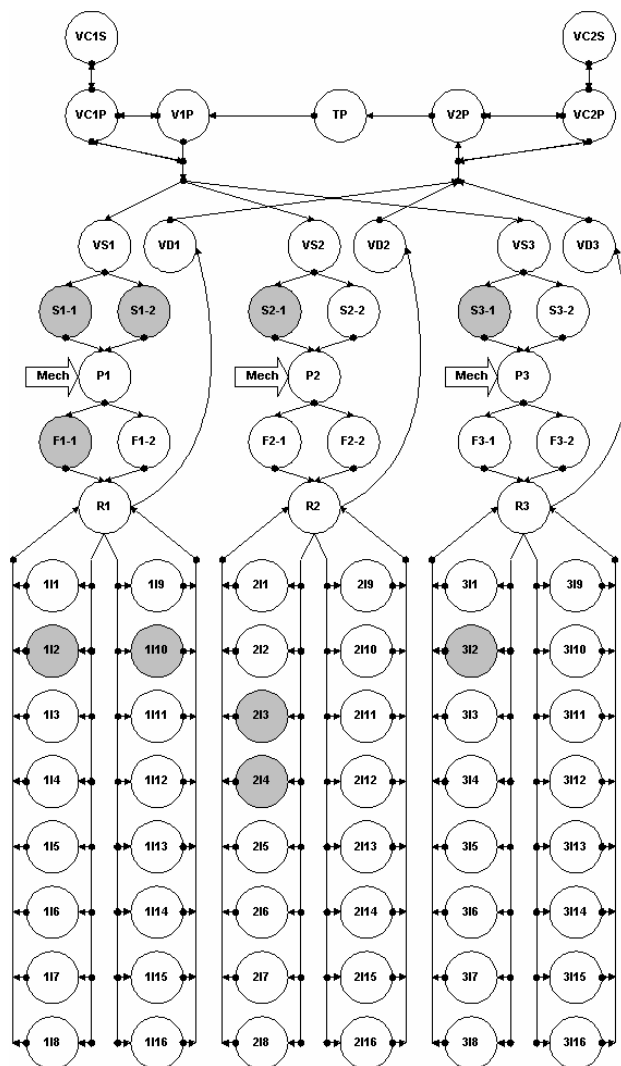
Jednym z czynników mających na celu zapewnienie efektywnej i bezpiecznej pracy statków morskich jest prawidłowe spełnienie zadań do jakich przewidziana jest siłownia okrętowa. Może to zostać spełnione tylko przy zachowaniu odpowiednich standardów w zakresie bezpieczeństwa pracy, procedur eksploatacyjnych, wyszkolenia operatorów oraz niezawodności, bezpieczeństwa i efektywności podsystemów siłowni okrętowej w tym maszyn i urządzeń okrętowych. Wymaganie to dotyczy wszystkich etapów „życia” siłowni okrętowej, tj. począwszy od zamysłu, poprzez konstrukcje, etap eksploatacji aż do wyłączenia obiektu z użycia.

Jedną z miar gotowościowych zależnych od stanu technicznego systemu jest niegotowość. W dalszej części pracy przybliżono problematykę szacowania niegotowości systemu siłowni okrętowej w oparciu o metodę drzew uszkodzeń. Drzewa uszkodzeń (FTA) stanowią narzędzie pomocne w analizie predykcyjnej potencjalnych przyczyn niepożądanych zdarzeń mogących zaistnieć w czasie eksploatacji systemu [5]. W dalszej części zaprezentowano zastosowanie FTA do szacowania niegotowości instalacji siłowni okrętowych jako przykładu systemów o zmiennej strukturze funkcjonalnej.

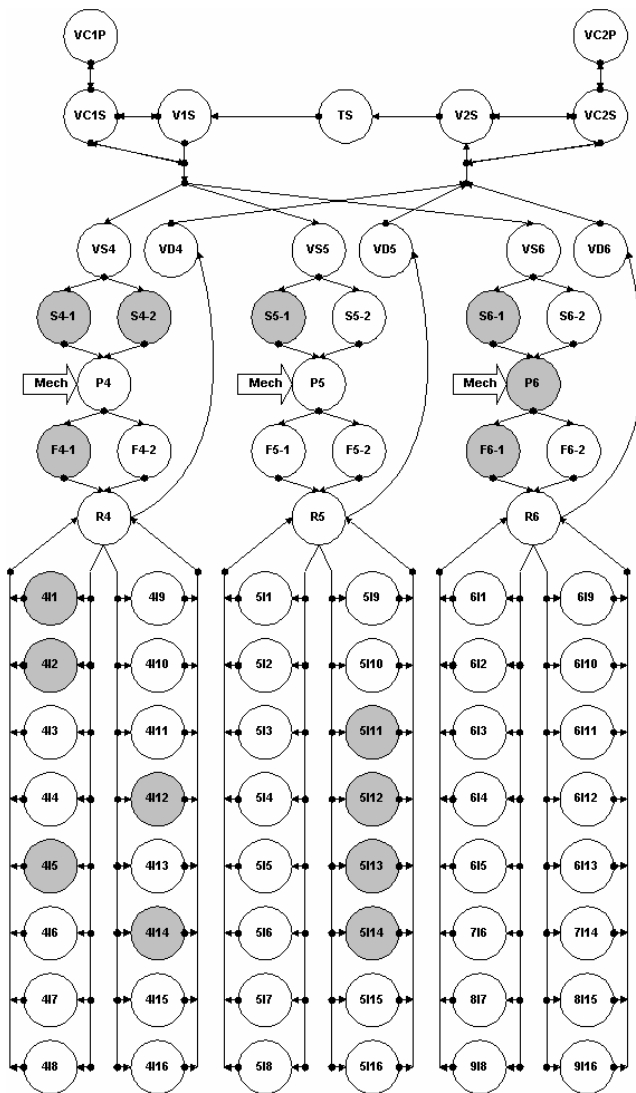
2. Obiekt analizy

Analizę przeprowadzono dla systemu zasilania paliwem silników głównych zespołów prądowców wielozadaniowego statku oceanotechnicznego [3, 4]. Przepływ czynników energetycznych w instalacji przedstawiono na strukturach funkcjonalnych (rys. 1 – instalacja na lewej burcie; rys. 2. – instalacja na prawej burcie). Na rysunkach przedstawiono jako zaciemnione elementy, które uległy uszkodzeniu podczas prowadzenia obserwacji pracy systemów. Paliwo napływa grawitacyjnie z umieszczonych ponad silnikami zbiorników rozchodowych (TP; TS), z których kierowane jest poprzez zawory szybkoszamykające (VIP – lewa burta i VIS – prawa burta) do rurociągu zasilającego trzy silniki głównych zespołów prądowców. Zawory na zbiornikach mogą być obsługiwane jak klasyczne zawory

lub w sytuacji awaryjnej, możliwe jest ich zamknięcie lokalnie z wykorzystaniem dźwigni szybkiego zamykania lub zdalnie za pomocą sprężonego powietrza. Rurociągi doprowadzające paliwo do silników w obu siłowniach mogą zostać ze sobą połączone poprzez otwarcie zaworów rozdzielających (VC1P – lewa burta i VC1S – prawa burta) zlokalizowanych po obu stronach grodzi rozdzielającej przedziały maszynowe. Stosownie do procedur w czasie operacji statku w trzeciej klasie konsekwencji, zawory rozdzielające instalacje doprowadzenia paliwa do silników powinny być w pozycjach zamkniętych, co dodatkowo wymaga potwierdzenia na odpowiedniej liście kontrolnej.



Rys. 1. Struktura funkcjonalna przepływu czynników energetycznych w systemie – lewa burta (opis w tekście).



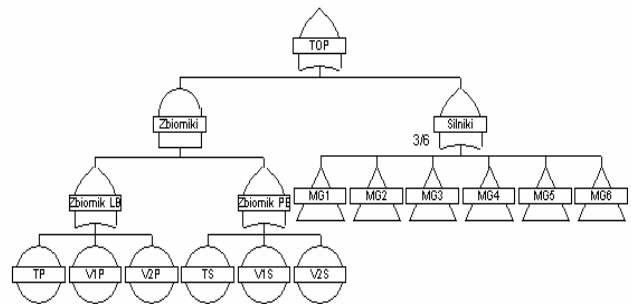
Rys. 2. Struktura funkcjonalna przepływu czynników energetycznych w systemie – prawa burta (opis w tekście).

Pompa (P1; P2; P3; P4; P5; P6) każdego z silników zasilana jest od wału korbowego energią mechaniczną za pośrednictwem przekładni zębatej. Każda pompa zasysa paliwo poprzez zawór ssawny (VS1; VS2; VS3; VS4; VS5; VS6) oraz blok filtrów zgrubnych (S1-1, S1-2; S2-1, S2-2; S3-1, S3-2; S4-1, S4-2; S5-1, S5-2; S6-1, S6-2). Tłoczone paliwo przepływa przez filtry dokładnego oczyszczania (F1-1, F1-2; F2-1, F2-2; F3-1, F3-2; F4-1, F4-2; F5-1, F5-2; F6-1, F6-2) oraz blok rozdzielczy (R1; R2; R3; R4; R5; R6). Następnie poprzez kolektory dopływowe paliwo doprowadzane jest do pompowtryskiwaczy (1I1, 1I2...1I16; 2I1, 2I2...2I16; 3I1, 3I2...3I16; 4I1, 4I2...4I16; 5I1, 5I2...5I16; 6I1, 6I2...6I16). Paliwo o odpowiednich parametrach wtryskiwane jest do poszczególnych przestrzeni spalania cylindrów. Niewykorzystane paliwo odprowadzane jest kolektorami odpływowymi do bloku rozdzielczego, a następnie zawór odpływowy (VD1; VD2; VD3; VD4; VD5; VD6) Paliwo odpływające z każdego z silników kierowane jest poprzez rurociąg powrotny do zbiorników rozchodowych, odpowiednio w każdej z siłowni. Rurociągi odprowadzające paliwo z silników w każdej z

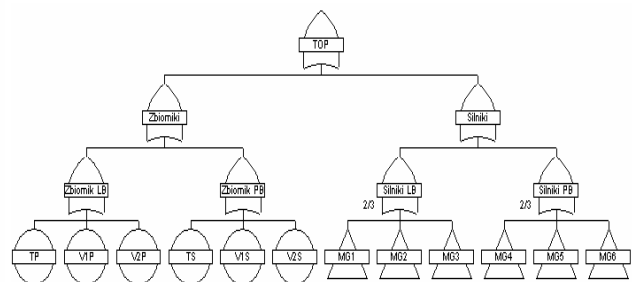
siłowni dziobowych mogą zostać ze sobą połączone poprzez otwarcie zaworów rozdzielających (VC2P – lewa burta i VC2S – prawa burta) zlokalizowanych po obu stronach grodzi dzielącej maszynownię.

3. Model systemu

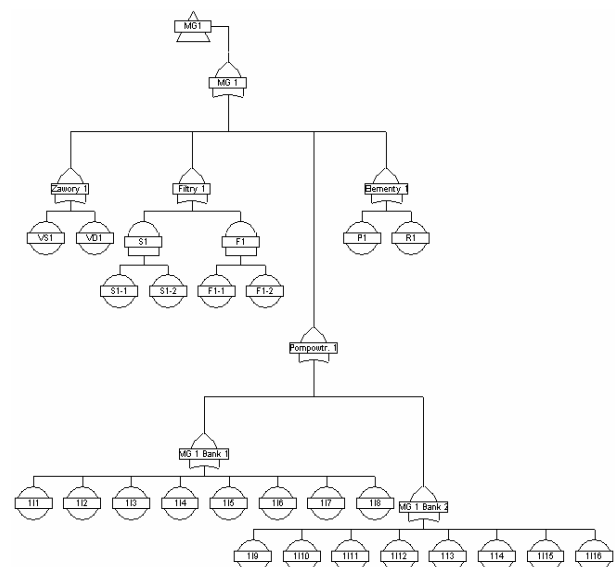
Dla systemu paliwowego zbudowano drzewa uszkodzeń odpowiadające dwóm stanom pracy systemu: siłownie połączone (rys. 3) i siłownie rozdzielone (rys. 4). Oznaczenia na rysunkach przyjęto zgodnie z publikacją wcześniej przytoczonym opisem systemu.



Rys. 3. Drzewo uszkodzeń dla instalacji zasilania paliwem (siłownie połączone).



Rys. 4. Drzewo uszkodzeń dla instalacji zasilania paliwem (siłownie rozdzielone).



Rys. 5. Poddrzewo przeniesienia instalacji lokalnej silnika na przykładzie MG1

4. Dane do symulacji

W tabelach 1 i 2 zaprezentowano przyjęte estymowane wartości intensywności uszkodzeń elementów instalacji zasilania paliwem silników generatorów głównych.

Tab. 1. Zestawienie przyjętych wartości intensywności uszkodzeń elementów systemu zasilania paliwem silników generatorów głównych. Ciągły proces zużycia.

Element	Intensywność uszkodzeń λ	
	[uszk./h]	[uszk./10 ⁶ h]
Pompy podające	$5,00 \cdot 10^{-6}$	5
Bloki rozdzielcze	$3,00 \cdot 10^{-6}$	3
Pompowtryskiwacze	$5,54 \cdot 10^{-6}$	5,54
Filtry zgrubne	$4,17 \cdot 10^{-4}$	416
Filtry dokładnego oczyszczania	$4,17 \cdot 10^{-4}$	416

Tab. 2. Zestawienie przyjętych wartości intensywności uszkodzeń elementów systemu zasilania paliwem silników generatorów głównych. Działanie na żądanie.

Element	Intensywność uszkodzeń λ	
	[uszk. / żądanie]	
Zawory	$1,00 \cdot 10^{-4}$	
Zbiorniki rozchodowe	$1,00 \cdot 10^{-7}$	

Na podstawie danych zawartych w tabelach 1 i 2 wyznaczono niegotowości operacyjne elementów systemu zasilania paliwem silników głównych zespołów prądotwórczych dla odpowiednich czasów misji. Oszacowane wartości niegotowości operacyjnej dla analizowanych systemów zaprezentowano w tabeli 3.

Tab. 3. Oszacowane wartości niegotowości operacyjnej elementów systemu zasilania

Czas misji	Niegotowość elementu	
	500h	6000h
Pompy podające	2,50E-03	3,00E-02
Bloki rozdzielcze	1,50E-03	1,80E-02
Pompowtryskiwacze	2,77E-03	3,32E-02
Filtry zgrubne	2,09E-01	2,09E-01*
Filtry dokładnego oczyszczania	2,09E-01	2,09E-01*

* Dla filtrów przy symulacji dla 6000h przyjęto czas misji 500h co wynika z rezerwy dla tych elementów.

5. Symulacje przebiegu niegotowości

W oparciu o zbudowane drzewa przeprowadzono analizy wykorzystując jako wejściowe, dane zestawione w rozdziale 4. Analiz dokonano w oparciu o program CARA firmy Sydvest [2] oraz z wykorzystaniem opracowanych przez autora arkuszy pracujących w środowisku Microsoft Excel. Podstawowym celem, było tu oszacowanie niegotowości systemu. Analizę przeprowadzono z zastosowaniem dwóch wybranych

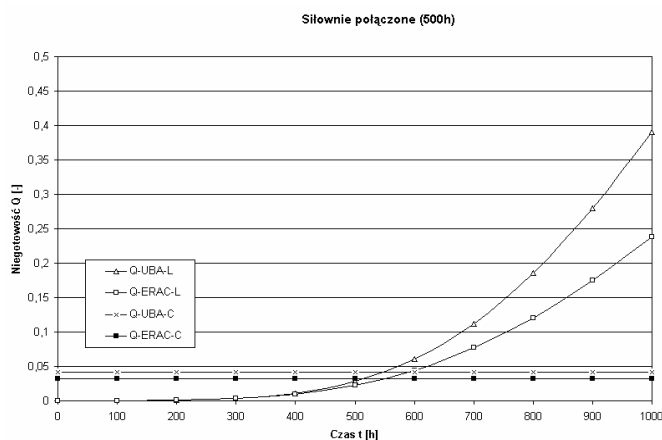
metod, a mianowicie: aproksymacji górnego ograniczenia (UBA) [5] oraz metody bazującej na algorytmie dokładnej kalkulacji (ERAC) [1].

Symulacje przeprowadzono przy założeniach:

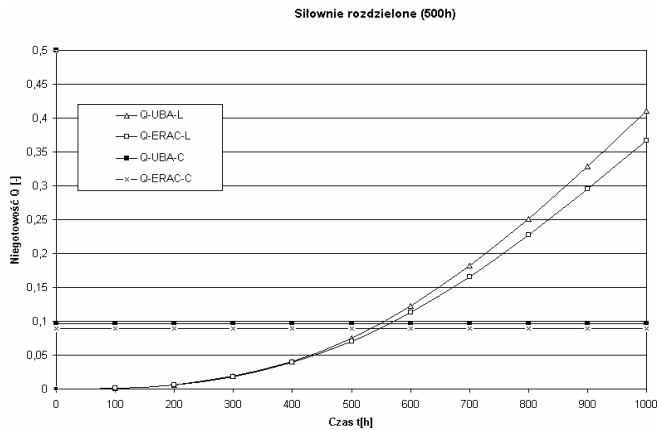
- pełnej sprawności systemu w chwili rozpoczęcia obserwacji;
- wszystkie elementy, których czas pomiędzy planowanymi przeglądami odpowiada czasowi symulacji klasyfikowane są jako nienaprawialne;
- przyjęto, że elementy charakteryzują się wykładniczym rozkładem uszkodzeń;
- czas symulacji dla prac obsługowych 500h oraz 6000h przyjęto odpowiednio jako równy 1000h oraz 6500h; (w oparciu o obserwacje wcześniej zebrane dane);
- zakłada się, że zdarzenia są statystycznie niezależne;
- zakłada się, że zachowanie systemu wystarczająco odzwierciedlają interakcje zamodelowane za pomocą statycznych bramek logicznych;
- założony dopuszczalny błąd analiz numerycznych dla algorytmu ERAC przyjęto jako równy $E_{ERAC} = 10^{-06}$;
- dokładność pomiaru czasu w analizach wynosi 1h;
- przyjęto, że wartościami dopuszczalnymi niegotowości systemu są wartości odpowiadające czasom do wykonania obsług bieżących narzuconych procedurami eksploatacyjnymi;
- przyjęto, że wartościami granicznymi niegotowości systemu są wartości odpowiadające czasom do wykonania obsług bieżących powiększonym o czas do najbliższej obsługi serwisowej 500h.

6. Oszacowane charakterystyki niegotowości

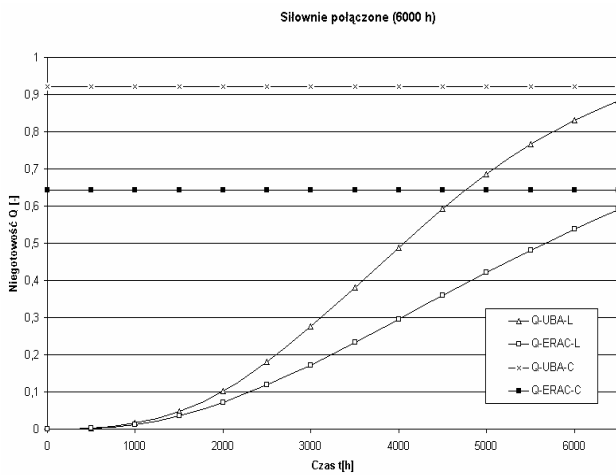
Poniżej zestawiono wybrane symulacje przebiegu wartości niegotowości systemu zasilania paliwem, uzyskane w oparciu o przytoczone dane. Jako wybrane symulacje zaprezentowano dla czasów przeglądów bieżących (500h) głównych (6000h), po dwie analizy dla każdego ze stanów pracy elektrowni (siłownie połączone i rozdzielone) – rys. 6, 7, 8, 9. Każda symulacja przedstawia przebiegi niegotowości uzyskane metodami aproksymacji górnego ograniczenia oraz w oparciu o dokładny algorytm ERAC [1, 5].



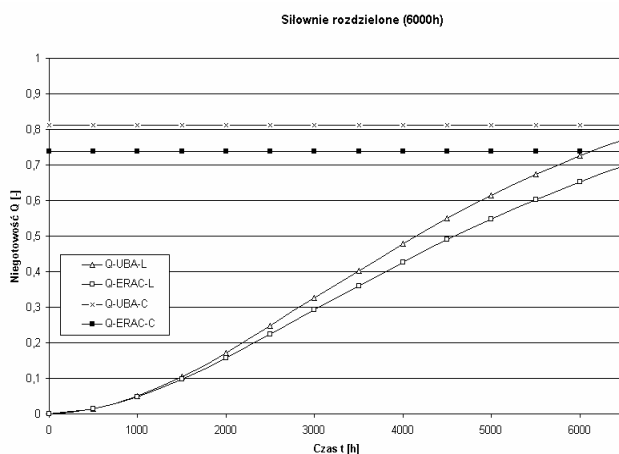
Rys. 6. Symulacja dla 500h – siłownie połączone



Rys. 7. Symulacja dla 500h – siłownie rozdzielone



Rys. 8. Symulacja dla 6000h – siłownie połączone



Rys. 9. Symulacja dla 6000h – siłownie rozdzielone

7. Uwagi końcowe

W wyniku przeprowadzonych analiz można ocenić skuteczność rozwiązań technicznych wdrożonych dla zapewnienia systemowi określonego poziomu

bezpieczeństwa i niezawodności. Analiza porównawcza przebiegu charakterystyk dla proponowanego przez producenta systemu rezerwu wykazuje zbieżność danych (wskazuje na dobry dobór czasów przeglądów). Nasuwa się tu możliwość analizy uzyskanych wyników pod różnym kątem – dla oceny różnych cech systemu w tym jego gotowości, niezawodności oraz bezpieczeństwa pracy. Drzewo uszkodzeń stanowi wygodne narzędzie dla szacowania niegotowości systemu, a w szczególności:

- metoda pozwala na szybkie porównanie charakterystyk niezawodnościowych przy różnych stanach eksploatacyjnych obiektów, bardzo małym nakładem zmian w przyjętym modelu, tzn. wystarczy zmienić pewne segmenty w raz zbudowanym dla danego systemu drzewie bez konieczności budowy nowego drzewa od podstaw.
- Możliwe jest wykorzystanie metody do badania wpływu rezerwowania na parametry gotowościowe systemu,
- Struktura drzew odpowiadających instalacjom okrętowych może być względnie w prosty sposób modyfikowana, dzięki czemu możliwa jest analiza pracy podsystemów,
- Dane w analizach mogą pochodzić z opisu obiektów podobnych, przy czym należy mieć na uwadze indywidualne cechy, takie jak w przypadku statków: warunki hydro-meteorologiczne, które oddziałują na statek, rejon pływania, zadania jakie statek wykonuje, rodzaj ładunku, wyszkolenie personelu, itp., dlatego przy wykorzystaniu takich informacji konieczne jest określenie warunków w jakich zdarzenie zaistniało.
- Możliwe jest przeprowadzenie podobnych analiz dla innych statków i obiektów oceanotechnicznych.
- Możliwe jest również rozszerzenie zaprezentowanych analiz przy uwzględnieniu specyfiki pracy, budowy i eksploatacji na inne dziedziny techniki dla analizy rozwoju niegotowości złożonych systemów technicznych o zmiennej strukturze funkcjonalnej.

Literatura

1. Aven, T., *Reliability/Availability Evaluations of Coherent Systems Based on Minimal Cut Sets*, Reliability Engineering 12:93-104, 1985.
2. *CARA-Fault Tree Academic version 4.1*. Sydvest Software. Trondheim 1999. <http://www.sydvest.com>
3. Chybowski L., *Analiza pracy systemu energetyczno-napędowego statku typu offshore z wykorzystaniem metody drzew uszkodzeń*. Materiały XXII Sympozjum Siłowni Okrętowych SymSO 2001. WTM Politechnika Szczecińska, Szczecin 2001, s. 83-88.
4. Chybowski L., *System energetyczno-napędowy jako podstruktura systemu dynamicznego pozycjonowania jednostki oceanotechnicznej*. Materiały XXIII Sympozjum Siłowni Okrętowych, Akademia Morska, Gdynia, 2002, s. 39-44.13, 1985, s. 93-104.
5. Vesely W. E., Goldberg F. F., Roberts N. H., Haasl D. F., *Fault Tree Handbook*. NUREG-0492. Washington, January 1981.