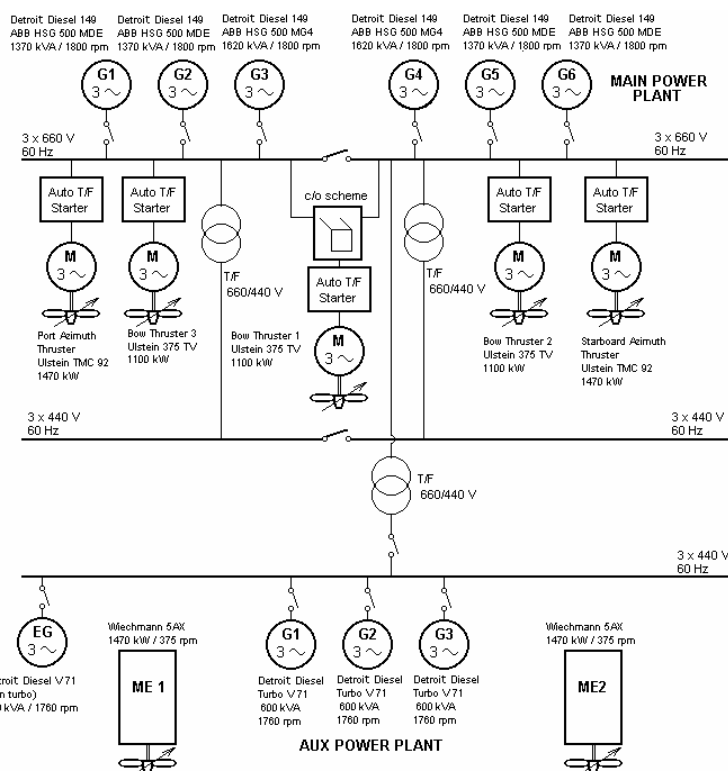


PRZYDATNOŚĆ WYBRANYCH ANALITYCZNYCH ALGORYTMÓW OBLICZENIOWYCH NIEGOTOWOŚCI SYSTEMÓW SIŁOWNI OKRĘTOWYCH W METODZIE DRZEW USZKODZEŃ

1. Wprowadzenie

W pracy dokonano próby przedstawienia możliwości zastosowania wybranych sposobów analitycznego wyznaczenia wartości niegotowości systemu siłowni okrętowej w oparciu o drzewo uszkodzeń.



Rys. 1. Budowa systemu energetyczno-napędowego wielozadaniowego statku oceanotechnicznego.

Przeprowadzono analizę niegotowości systemu paliwowego [4] silników spalinowych zespołów prądotwórczych G1, G2, ... G6 (rys. 1) elektrowni głównej wielozadaniowego statku oceanotechnicznego [2], dla dwóch stanów pracy (siłownie połączone i siłownie rozdzielone). Jako dane dla analiz posłużyły estymatory niegotowości operacyjnej elementów oszacowane w oparciu o obserwację pracy systemu w czasie trzech lat eksploatacji.

2. Wybrane metody szacowania niegotowości systemu

W dalszej części przedstawiono wybrane metody szacowania niegotowości systemu w oparciu o aproksymację górnego ograniczenia dla $Q_0(t)$ oraz algorytm ERAC.

2.1. Aproksymacja górnego ograniczenia dla $Q_0(t)$ (UBA)

Przekroje minimalne drzewa uszkodzeń oznaczono przez C_1, C_2, \dots, C_n . Przy założeniu niezależności zdarzeń wejściowych, prawdopodobieństwo zaistnienia wszystkich wejść k -tego przekroju minimalnego C_k wynosi:

$$\tilde{Q}_k(t) = \prod_{i \in C_k} q_i(t) \quad (1)$$

Jeśli przekroje nie mają części wspólnej, czyli są statystycznie niezależne to prawdopodobieństwo zaistnienia zdarzenia szczytowego wynosi:

$$Q_0(t) = 1 - \prod_{k=1}^n [1 - \tilde{Q}_k(t)] \quad (2)$$

Jeśli warunek ten nie jest prawdziwy, zawsze zachodzi nierówność:

$$Q_0(t) \leq 1 - \prod_{k=1}^n [1 - \tilde{Q}_k(t)] \quad (3)$$

Prawdopodobieństwo zaistnienia zdarzenia szczytowego $Q_0(t)$ jest w przybliżeniu równe prawej stronie nierówności (3). Błąd oszacowania jest mały zwłaszcza dla q_i bliskich zeru. Zależność opisująca górne ograniczenie dla $Q_0(t)$ jest zwykle wystarczającym przybliżeniem rzeczywistej wartości $Q_0(t)$. Należy zwrócić uwagę, iż nierówność (3) może być także stosowana do drzew uszkodzeń zawierających zdarzenia będące w pewnym stopniu zależne statystycznie.

2.2. Dokładna kalkulacja $Q_0(t)$; Algorytm ERAC

Jedną z bardziej rozpowszechnionych alternatyw dla metody aproksymacji górnego ograniczenia jest algorytm ERAC (ang. *Exact Reliability / Availability Calculation* - Dokładna Kalkulacja Niezawodności / Gotowości), który został opracowany przez Aven'a [1]. Algorytm

ERAC bazuje na metodzie dekompozycji opracowanej przez Doulliez i Jamouille [5], oryginalnie zaprojektowanej dla sieci transportowych. Metoda Avena doczekała się wielu modyfikacji. Poniżej zaprezentowano odmianę algorytmu wykorzystaną w programie *CARA Fault Tree*, w oparciu, o który przeprowadzono analizy.

Jeżeli drzewo uszkodzeń złożone jest z n niezależnych zdarzeń wejściowych. Przez $\bar{y} = (y_1, y_2, \dots, y_n)$ oznaczono losowy wektor stanu zdarzeń wejściowych, gdzie y_i jest równe 1, gdy i -te zdarzenie zachodzi, natomiast równe 0, w przeciwnym przypadku. A opisuje wszystkie stany \bar{y} drzewa uszkodzeń, dla których zachodzi zdarzenie szczytowe. Prawdopodobieństwo $Q_0(t)$ jest opisane wówczas następująco:

$$Q_0(t) = \sum_{\bar{y} \in A} P[\bar{Y}(t) = \bar{y}] \quad (4)$$

Jeśli przyjmiemy:

$$P[Y_i(t) = 1] = q_i(t)$$

$$P[Y_i(t) = 0] = 1 - q_i(t) = p_i(t)$$

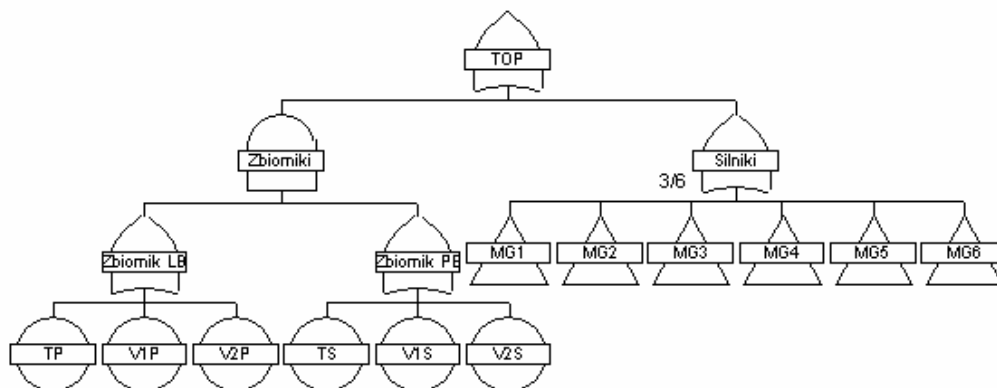
wówczas:

$$P[\bar{Y}(t) = \bar{y}] = \prod_{i=1}^n p_i(t)^{1-y_i} q_i(t)^{y_i} \quad (5)$$

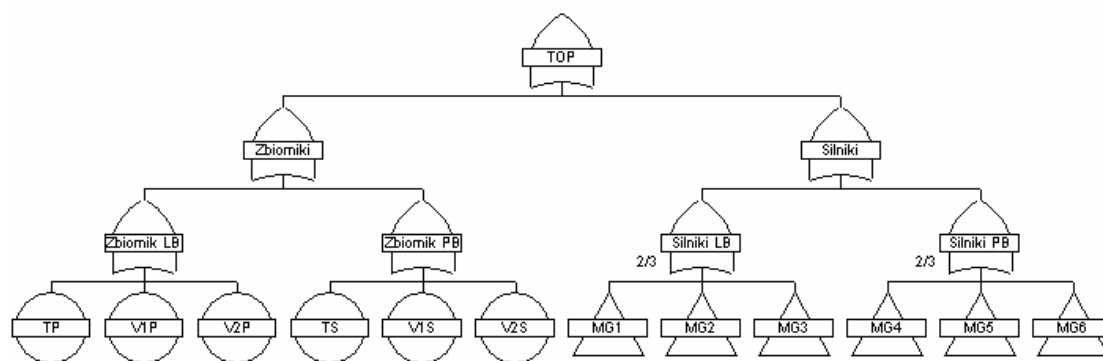
Algorytm ERAC i wiele algorytmów pochodnych opiera się na formule (5).

3. Model systemu

Dla systemu paliwowego zbudowano drzewa uszkodzeń odpowiadające dwóm stanom pracy systemu: siłownie połączone (rys. 2) i siłownie rozdzielone (rys. 3). Oznaczenia na rysunkach przyjęto zgodnie z publikacją [2].



Rys. 2. Drzewo uszkodzeń dla instalacji zasilania paliwem silników głównych zespołów prądotwórczych (zawory rozdzielające siłownie w pozycjach otwartych).



Rys. 3. Drzewo uszkodzeń dla instalacji zasilania paliwem silników głównych zespołów prądowórczych (zawory rozdzielające siłownie w pozycjach zamkniętych).

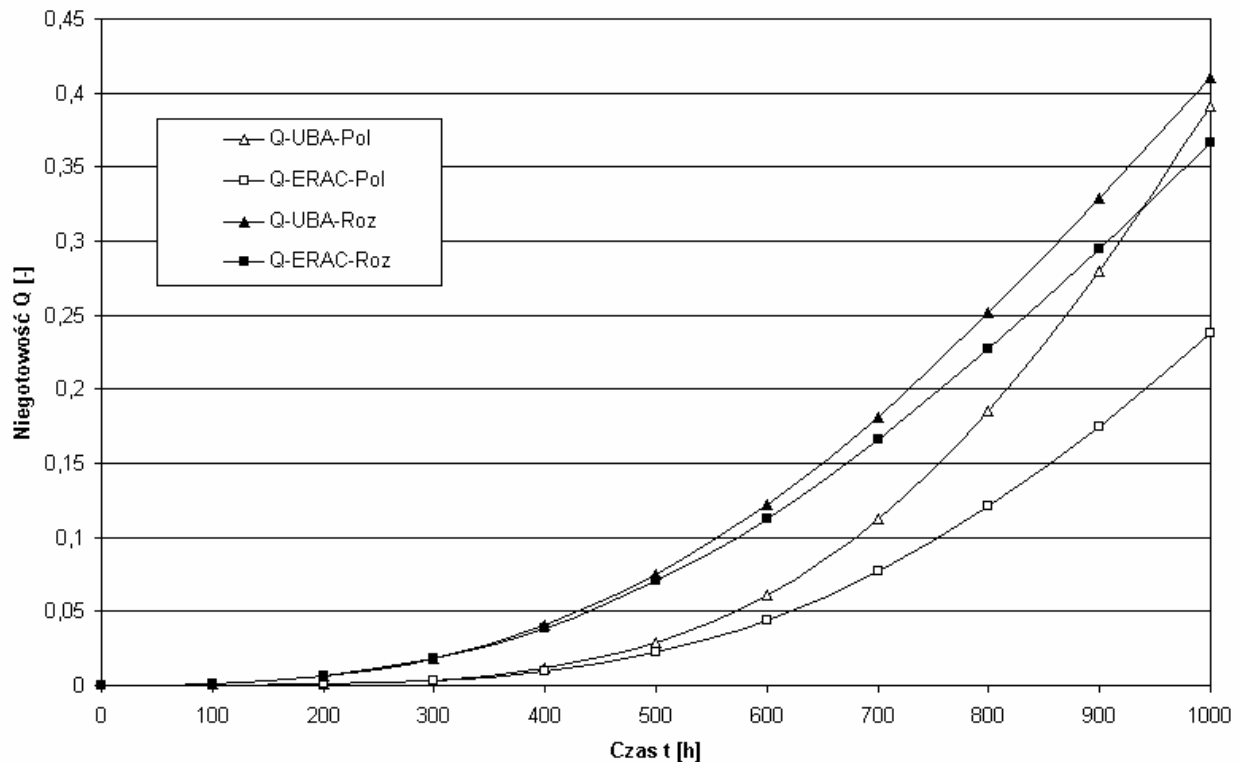
4. Wyniki analizy

W wyniku analizy dla zaprezentowanych drzew uszkodzeń przeprowadzono symulacje w odniesieniu do obsługi serwisowej 500h (czas symulacji 1000h) i uzyskano przebiegi niegotowości systemu dla siłowni rozdzielonych (zawory rozdzielające zamknięte) i siłowni połączonych (zawory rozdzielające otwarte). Zestawienie wartości dla metody górnego ograniczenia (UBA) oraz metody dokładnej (ERAC) przedstawia tabela 1. Przebiegi niegotowości systemu przedstawiono na rysunku 4.

Tab. 1. Zestawienie oszacowanych niegotowości systemu dla dwóch analizowanych metod w odniesieniu do różnych stanów pracy elektrowni okrętowej

Czas t [h]	Zawory otwarte		Zawory zamknięte	
	Q-UBA-Pol	Q-ERAC-Pol	Q-UBA-Roz	Q-ERAC-Roz
0	4,02E-08	4,02E-08	4,00E-04	4,00E-04
100	4,50E-05	4,37E-05	1,43E-03	1,42E-03
200	6,43E-04	5,98E-04	6,45E-03	6,33E-03
300	3,38E-03	2,98E-03	1,86E-02	1,80E-02
400	1,13E-02	9,37E-03	4,08E-02	3,89E-02
500	2,87E-02	2,24E-02	7,51E-02	7,04E-02
600	6,09E-02	4,44E-02	1,22E-01	1,13E-01
700	1,12E-01	7,70E-02	1,82E-01	1,66E-01
800	1,86E-01	1,21E-01	2,52E-01	2,27E-01
900	2,80E-01	1,75E-01	3,29E-01	2,95E-01
1000	3,91E-01	2,38E-01	4,11E-01	3,67E-01

Wpływ połączenia siłowni (500h)



Rys. 4. Przebiegi niegotowości systemu uzyskane metodami UBA i ERAC dla różnych stanów pracy elektrowni.

5. Uwagi końcowe

Metoda aproksymacji górnego ograniczenia dla niegotowości wykazuje znaczne zawyżenie uzyskanych wyników w analizach dla siłowni połączonych w porównaniu z metodą opartą o algorytm ERAC. Dla siłowni rozdzielonych zawyżenie wartości niegotowości było mniejsze. Pomimo zalety metody aproksymacji górnego ograniczenia jaką jest efektywność prowadzonych obliczeń, wykazuje ona znaczną rozbieżność w odniesieniu do wyników uzyskanych w oparciu o dokładniejszy algorytm ERAC. Wynika to dla zaprezentowanego przykładu ze specyfiki budowy systemów siłowni okrętowych, w których wiele elementów wchodzi w skład różnych minimalnych przekrojów niezdatności [3]. Wobec powyższego nasuwa się wniosek o celowości przeprowadzenia weryfikacji możliwości zastosowania metody szacowania niegotowości systemu na drodze aproksymacji górnego ograniczenia dla założonego maksymalnego zawyżenia wartości niegotowości. Pozwoliłoby to na uniknięcie zawyżenia uzyskanych wyników i związanego z tym zwiększenia kosztów związanych z zapewnieniem systemowi wymaganego poziomu bezpieczeństwa i niezawodności eksploatacji.

Literatura

1. Aven, T., *Reliability/Availability Evaluations of Coherent Systems Based on Minimal Cut Sets*, Reliability Engineering 12:93-104, 1985.
2. 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.
3. Chybowski L., *Auxiliary installations' fault tree model for operation analysis of vessel's power plant unit*. Балттехмаш – 2002, KGTU, Kaliningrad, Czerwiec 2002, s. 299-301.
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. Doulliez, P., Jamouille, J., *Transportation Networks with Random Arc Capacities*, RAIRO, 3, 1972, s. 45-60.

USEFULNESS OF SELECTED ANALYTICAL ALGORITHMS FOR CALCULATION OF UNAVAILABILITY OF MARINE POWER PLANT SYSTEMS IN FAULT TREE ANALYSIS

The paper contains presentation two different methods for calculating of unavailability of system (the upper bound approximation and the ERAC algorithm). Selected quantitative analysis for example fault tree constructed for selected marine fuel supply system were presented. Two different operational states of system were considered.

PRZYDATNOŚĆ WYBRANYCH ANALITYCZNYCH ALGORYTMÓW OBLICZENIOWYCH NIEGOTOWOŚCI SYSTEMÓW SIŁOWNI OKRĘTOWYCH W METODZIE DRZEW USZKODZEŃ

Materiał przedstawia dwie różne metody obliczeniowe dla niegotowości systemu (aproksymację górnego ograniczenia oraz algorytm ERAC). Przedstawiono wybrane analizy ilościowe dla przykładowego drzewa uszkodzeń zbudowanego dla wybranej okrętowej instalacji zasilania paliwem. Rozważono dwa różne stany operacyjne systemu.