

LESZEK CHYBOWSKI

Politechnika Szczecińska

SZACOWANIE NIEGOTOWOŚCI WYBRANYCH SYSTEMÓW SIŁOWNI OKRĘTOWEJ OBIEKTÓW PŁYWAJĄCYCH SPECJALNEGO PRZEZNACZENIA

Materiał przedstawia procedurę badawczą mającą na celu oszacowanie niegotowości systemów siłowni okrętowej statku oceanotechnicznego. Przedstawiono wybrane kroki postępowania, tj. scharakteryzowano obiekt analizy, przedstawiono przykładowe modele w postaci struktury funkcjonalnej i drzew niezdatności oraz scharakteryzowano wykorzystane oprogramowanie komputerowe.

1. WPROWADZENIE

Bezpieczeństwo obiektów technicznych jest pojęciem wieloaspektowym. W odniesieniu do jednostek pływających jednym z istotnych czynników dla ich sprawnej, niezawodnej i bezpiecznej pracy jest prawidłowe spełnienie zadań, do jakich przewidziana jest siłownia okrętowa. Dotyczy to zwłaszcza obiektów pływających specjalnego przeznaczenia, czyli jednostek o przeznaczeniu nietransportowym (m.in. jednostki przetwórczo-składujące *FPSO* – ang. *Floating Production, Storage and Offloading*, jednostki do prac z wykorzystaniem pojazdów zdalnie sterowanych *ROV* – ang. *Remote Operated Vehicle*) z uwagi na dużą liczebność załóg (często kilkaset osób), a także specyfikę wykonywanych prac (możliwość spowodowania katastrofy ekologicznej). Ważną kwestią jest ryzyko utraty zdrowia i życia załóg i pasażerów tych statków, a także potencjalna możliwość utraty dużej wartości mienia materialnego. Jedną z miar charakteryzujących zdolność obiektów technicznych do wykonania zadań, do jakich zostały przeznaczone jest niegotowość, która powinna wykazywać wartości maksymalnie niskie. Miara ta określa prawdopodobieństwo, że obiekt techniczny jest w stanie niezdatności w chwili t . W prezentowanej analizie niegotowości systemów siłowni okrętowej posłużono się metodą drzew niezdatności.

Analizę przeprowadzono w oparciu o siłownię okrętową wielozadaniowego statku oceanotechnicznego (rys. 1) wspomagającego eksplorację dna morskiego, głównie wykonującego prace konstrukcyjne na instalacjach podwodnych obiektów wydobywczych i przetwórczych ropy naftowej i gazu ziemnego (układanie rur i kabli, *ROV*, prace nurkowe).

Statek pod względem konstrukcji, wyposażenia oraz działania odpowiada trzeciej, najwyższej klasie konsekwencji, określającej znaczenie jednostki pozycjonowanej dynamicznie (ang. *Consequence Class 3*), wobec czego możliwa jest praca przy najbardziej zaawansowanych operacjach oceanotechnicznych.



Rys. 1. Widok wielozadaniowego statku oceanotechnicznego

2. SZACOWANIE NIEGOTOWOŚCI WYBRANYCH SYSTEMÓW SIŁOWNI OKRĘTOWEJ

Szacowania niegotowości wybranych systemów siłowni okrętowej (rys. 2) dokonano na przykładzie systemów zasilania paliwem oraz chłodzenia wodą morską elektrowni głównej. Zarejestrowane chwile uszkodzeń w analizowanych systemach pozwoliły na oszacowanie intensywności uszkodzeń elementów i przeprowadzenie analiz ilościowych w oparciu o drzewa niezdatności. W sytuacji braku danych o uszkodzeniach pewnych elementów posłużono się wartościami niegotowości zaczerpniętymi z prac [7, 8, 9].

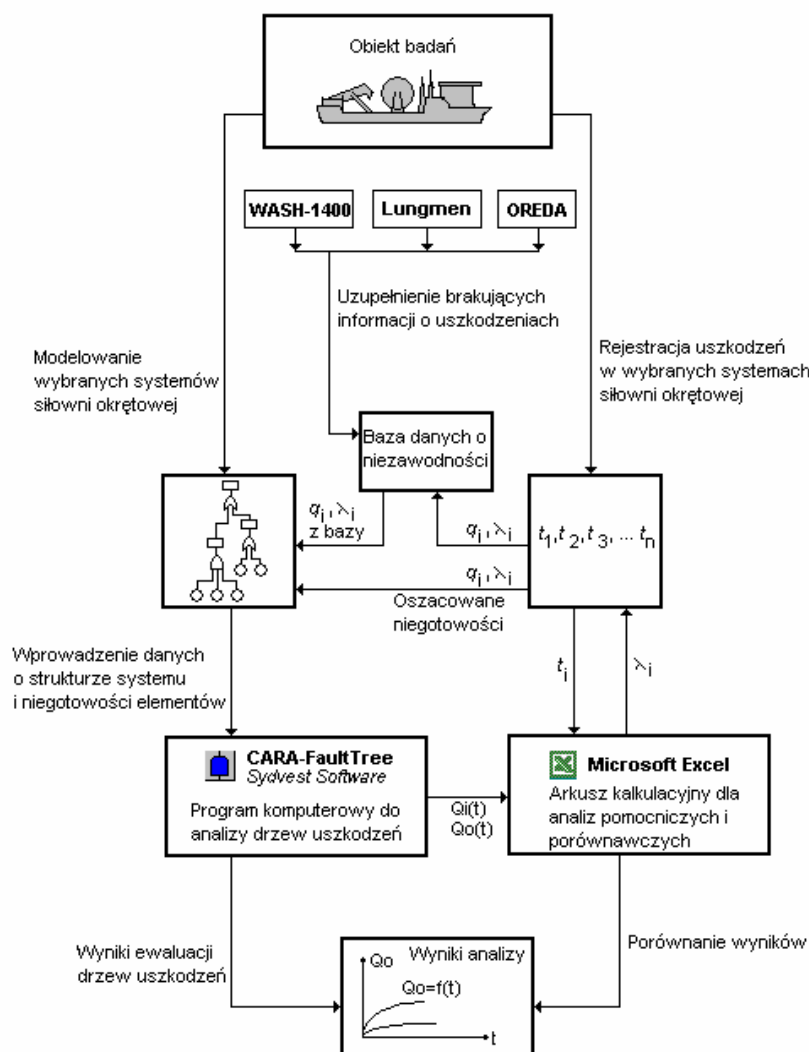
Będące przedmiotem analizy systemy chłodzenia wodą morską oraz zasilania paliwem elektrowni głównych wchodzi w skład systemu energetyczno-napędowego jednostki, przedstawionego na rysunku 3.

Struktura funkcjonalna jednego z analizowanych systemów (chłodzenia wodą morską), została przedstawiona na rysunku 4. Zaciemniono elementy, które uległy uszkodzeniu w trakcie prowadzenia obserwacji.

W oparciu o budowę systemów siłowni okrętowej [1, 2] zbudowano drzewa niezdatności [3, 4, 5] dla wybranych stanów pracy siłowni okrętowej (elektrownie połączone - rys. 5 oraz rozdzielone - rys.6). Oznaczenia na rysunkach 5 i 6 są zgodne z zaprezentowanymi wcześniej na rysunku 4.

Analizy komputerowe przeprowadzono przy użyciu programu *CARA-FaultTree* firmy *Sydvest Software* [6], który pozwala na wygodną konstrukcję i analizę drzew niezdatności. Dodatkowo posłużono się arkuszem kalkulacyjnym *MS Excel* do wykonania analiz pomocniczych oraz porównawczych. Na rysunku 7 przedstawiono jedną z analiz

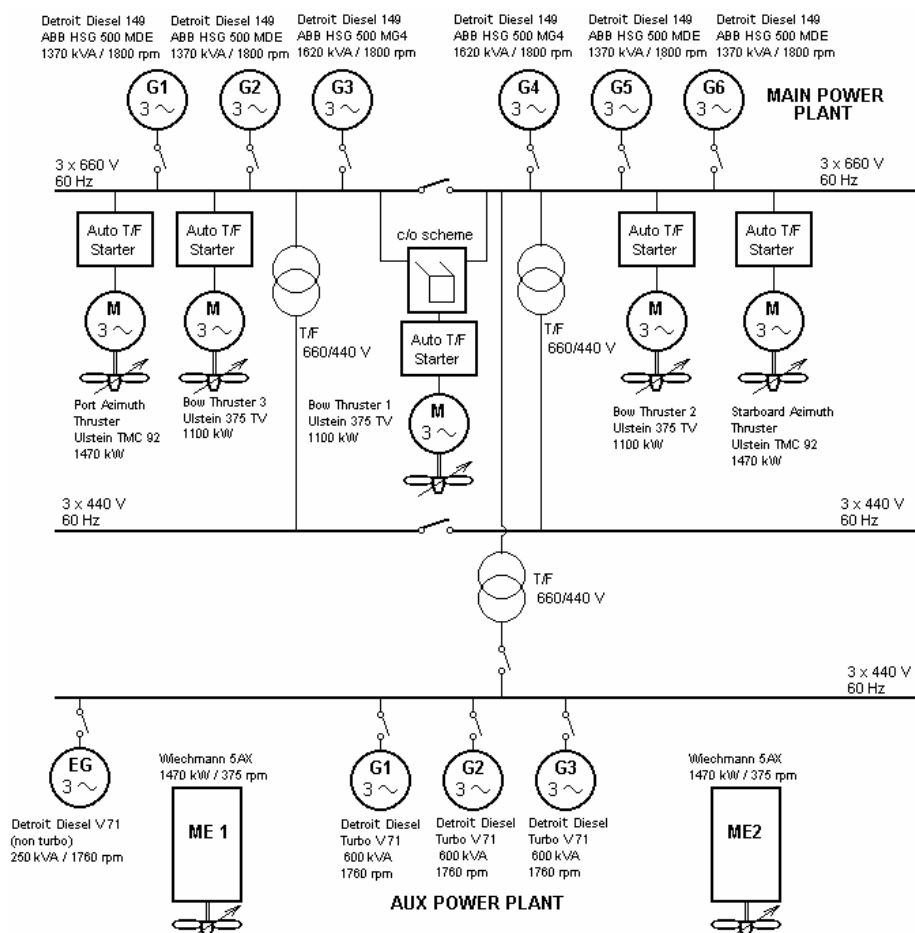
pomocniczych, tj. weryfikację możliwości zastosowania rozkładu wykładniczego do opisu długości czasu pomiędzy uszkodzeniami pompowtryskiwaczy badanego systemu.



Rys. 2. Przebieg procesu szacowania niegotowości wybranych systemów siłowni okrętowej

Na budowę drzewa niezdatności składa się proces konstrukcji z użyciem bramek logicznych (*LUB*, *I*, *K-z-N*, bramka zdarzenia warunkowego tzw. *ZAKAZ*) i zdarzeń wejściowych (bazowe, nierozwinięte, zewnętrzne) oraz wprowadzenie danych (identyfikatory, komentarze, dane niezawodnościowe). Drzewa mogą być umieszczone na wielu stronach, połączenia między stronami realizują symbole przeniesień (*Z* i *DO*). Po zbudowaniu drzewa, program pozwala na przeprowadzenie określonych analiz w odniesieniu do zdarzenia szczytowego lub dowolnego zdarzenia pośredniego. Wyniki

analiz prezentowane są w formie raportów, które mogą być generowane w postaci skróconej oraz rozszerzonej w zależności od potrzeb.

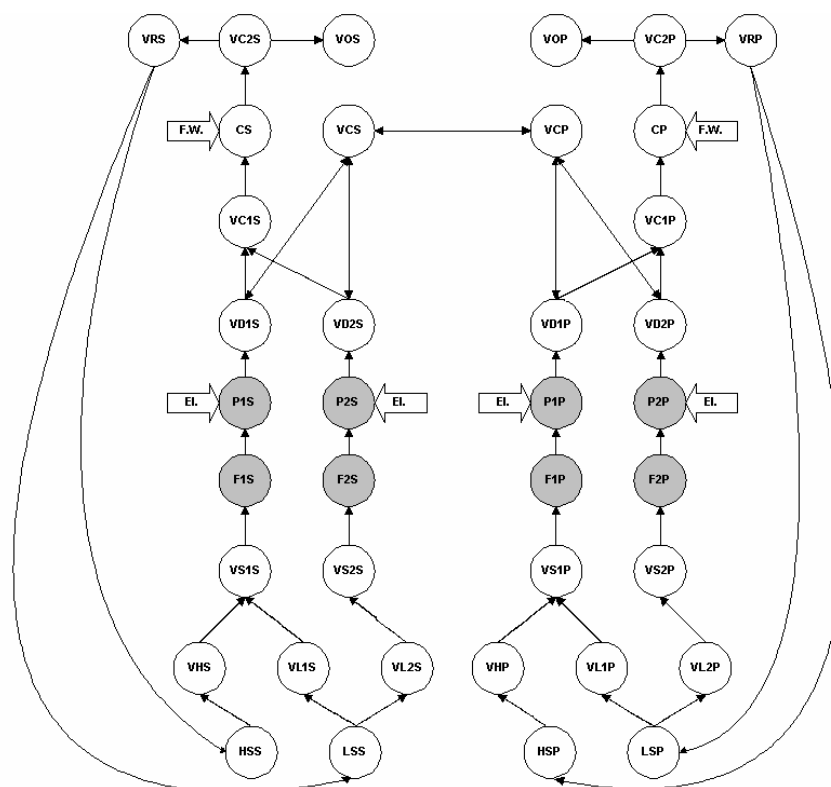


Rys. 3. System energetyczno-napędowego statku, na którym prowadzono obserwacje [6]

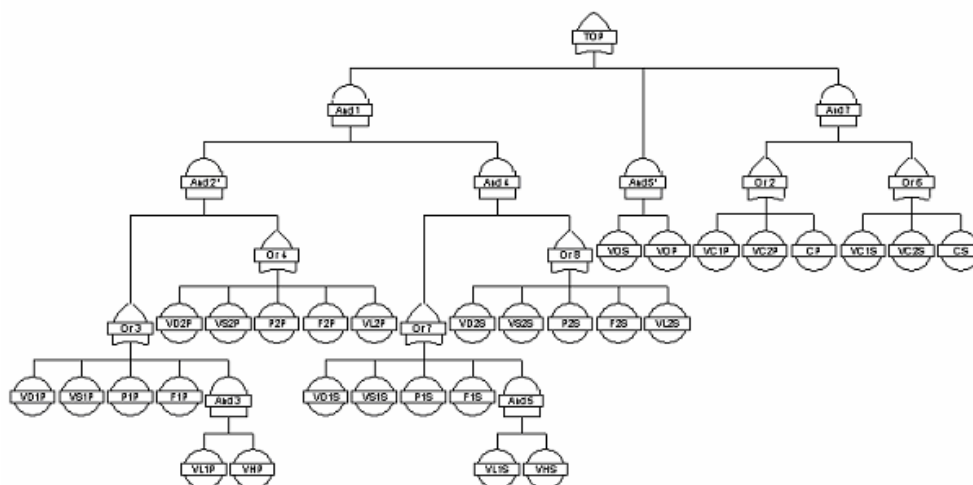
Opis charakteru zdarzeń dokonywany jest indywidualnie dla każdego zdarzenia lub w oparciu o możliwe do zdefiniowania klasy zdarzeń, co upraszcza proces wprowadzania danych dla wielokrotnie powtarzających się elementów o zbliżonych charakterystykach procesu uszkodzeń.

Wykorzystany do przeprowadzenia symulacji program pozwala na zastosowanie zdarzeń *zewnętrznych* opisanych jako *ON/OFF* – zdarzenie włączone / wyłączone oraz zdarzeń *bazowych* i *nierozwiniętych* z następującymi modelami dla opisu zdarzeń (w nawiasie parametry wejściowe): elementy nienaprawialne (intensywność uszkodzeń [uszk./10⁶h] oraz opcjonalnie współczynnik błęd oszacowania); elementy naprawialne (intensywność uszkodzeń [uszk./10⁶h], średni czas przywrócenia gotowości operacyjnej [h] oraz opcjonalnie współczynnik błęd oszacowania dla każdego parametru); elementy

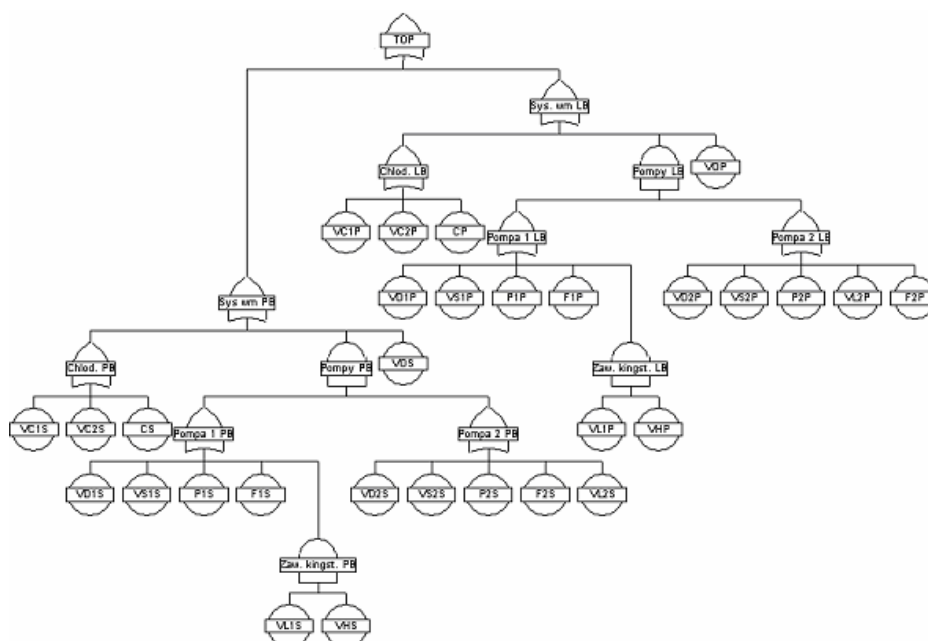
kontrolowane okresowo (intensywność uszkodzeń [uszk./10⁶h], średni czas przywrócenia gotowości operacyjnej [h], okres między przeglądami [h] oraz opcjonalnie współczynnik błędu oszacowania dla każdego parametru); elementy uszkodzające się tylko w określonych momentach (częstość uszkodzeń [1/10⁶h] oraz opcjonalnie współczynnik błędu oszacowania); działanie na żądanie (prawdopodobieństwo uszkodzenia oraz opcjonalnie współczynnik błędu oszacowania).



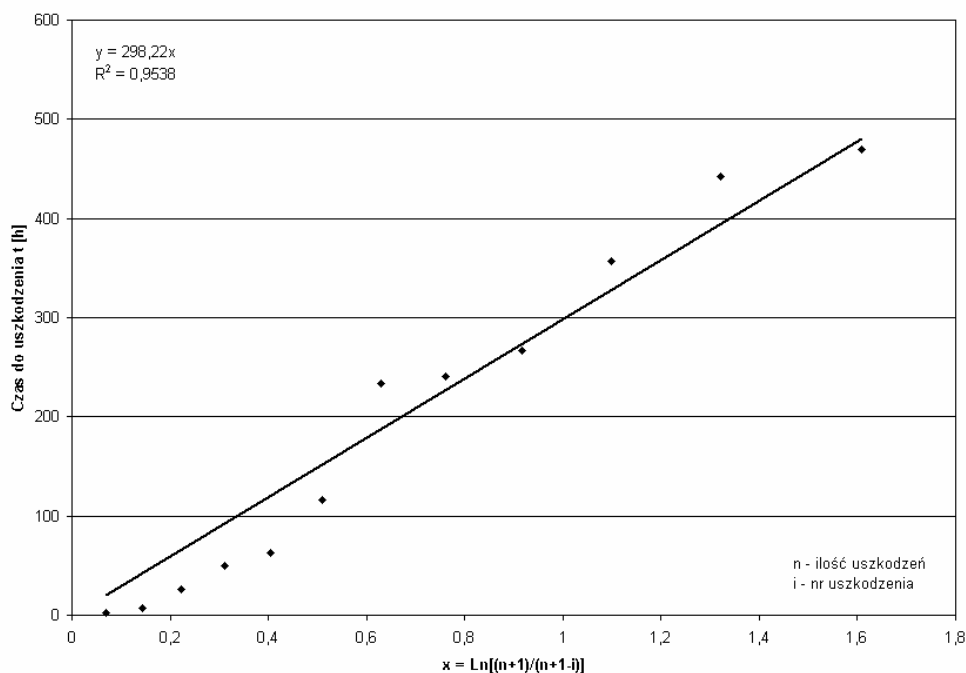
Rys. 4. Struktura funkcjonalna przepływu czynników w systemie chłodzenia wodą morską elektrowni głównej: VL1P - zaw. denny nr 1 LB (LB - lewa burta); VL1S - zaw. denny nr 1 PB (PB - prawa burta); VL2P - zaw. denny nr 2 LB; VL2S - zaw. denny nr 2 PB; VHP - zaw. burtowy LB; VHS - zaw. burtowy PB; VOP - zaw. odpływowy LB; VOS - zaw. odpływowy PB; VS1P - zaw. ssawny pompy nr 1 LB; VS1S - zaw. ssawny pompy nr 1 PB; VS2P - zaw. ssawny pompy nr 2 LB; VS2S - zaw. ssawny pompy nr 2 PB; VD1P - zaw. tłoczny pompy nr 1 LB; VD1S - zaw. tłoczny pompy nr 1 PB; VD2P - zaw. tłoczny pompy nr 2 LB; VD2S - zaw. tłoczny pompy nr 2 PB; VC1P - zaw. na dopływie chłodnicy LB; VC1S - zaw. na dopływie chłodnicy PB; VC2P - zaw. na odpływie chłodnicy LB; VC2S - zaw. na odpływie chłodnicy PB; P1P - pompa wody morskiej nr 1 LB(główna pompa pracująca LB); P1S - pompa wody morskiej nr 1 PB(główna pompa pracująca PB); P2P - pompa wody morskiej nr 2 LB(pompa rezerwowa LB); P2S - pompa wody morskiej nr 2 PB(pompa rezerwowa PB); F1P - filtr na ssaniu pompy nr 1 LB; F1S - filtr na ssaniu pompy nr 1 PB; F2P - filtr na ssaniu pompy nr 2 LB; F2S - filtr na ssaniu pompy nr 2 PB; CP - chłodnica centralna LB; CS - chłodnica centralna PB; F.W. - woda słodka; EL. - zasilanie elektryczne



Rys. 5. Drzewo niezdatności dla instalacji chłodzenia wodą morską elektrowni głównej (zawory rozdzielające siłownie w pozycjach otwartych)



Rys. 6. Drzewo niezdatności dla instalacji chłodzenia wodą morską elektrowni głównej (zawory rozdzielające siłownie w pozycjach zamkniętych)



Rys. 7 Weryfikacja możliwości zastosowania rozkładu wykładniczego do opisu długości czasu pomiędzy uszkodzeniami dla pompowtryskiwaczy

Stosowany w analizie program pozwala na wyznaczenie charakterystyk i wartości różnych miar i wskaźników z zależności od potrzeb i możliwości uzyskania określonych wyników dla posiadanego typu (przyjętych modeli) danych o uszkodzeniach, a mianowicie: wyznaczenia przekrojów minimalnych niezdatności drzewa; kalkulacji średniego czasu do uszkodzenia, tj. analitycznie (całkowanie numeryczne) i symulacja stochastyczna (Monte Carlo); wyznaczenia średniej gotowości systemu (Monte Carlo); oszacowania wartości / przebiegu niegotowości systemu, tj. analitycznie metodą aproksymacji górnego ograniczenia *UBA* (ang. *Upper Bound Approximation*) i w oparciu o algorytm dokładny *ERAC* (ang. *Exact Reliability / Availability Calculation*) oraz z zastosowaniem symulacji stochastycznej (Monte Carlo); oszacowania niezawodności systemu, tj. analitycznie (całkowanie numeryczne) i symulacja stochastyczna (Monte Carlo); wyznaczenia rozkładu częstości uszkodzeń w postaci histogramu; oszacowania częstości uszkodzeń systemu, tj. analitycznie (całkowanie numeryczne), na drodze symulacji stochastycznej (Monte Carlo) oraz z zastosowaniem tzw. „ręcznej metody obliczeniowej”; wyznaczenia miar ważności elementów analizowanego systemu, tj. niezawodnościowej miary Vesely-Fussell'a, niezawodnościowej miary Birnbaum'a, przyrostu potencjału niezawodności, miary krytyczności, rzędu najmniejszego przekroju minimalnego oraz strukturalnej miary Birnbaum'a; oceny niedokładności obliczeń (z korekcją względem wartości średniej lub mediany) w oparciu o metodę aproksymacji górnego ograniczenia oraz algorytm *ERAC*.

3. UWAGI KOŃCOWE

Badania autora umożliwiły zebranie danych o uszkodzeniach elementów obserwowanych systemów, a w oparciu o nie zbudowano bazę niezawodnościową dla dalszych analiz.

Ewaluacja zbudowanych dla systemów drzew niezdatności w oparciu o zebrane dane o uszkodzeniach pozwala: wyciągnąć wnioski odnośnie przydatności dla szacowania niegotowości badanych systemów siłowni okrętowej, opisu zdarzeń elementarnych modelem czasowo zależnym oraz stałej wartości prawdopodobieństwa zaistnienia zdarzenia; użyć do szacowania wybranych analitycznych algorytmów dla ewaluacji drzew niezdatności, tj. metod *UBA* i *ERAC*; porównać wyniki uzyskane w oparciu o te dwie metody i ocenić przydatność tych metod dla systemów siłowni okrętowej; porównać wyniki oszacowań dla różnych stanów pracy systemów siłowni okrętowej; ocenić zastosowany harmonogram przeglądów; dokonać analizy przydatności zastosowanej metodyki dla innych systemów oraz urządzeń siłowni okrętowej.

Zaprezentowany przykład analizy dotyczy złożonych obiektów technicznych, jakimi są siłownie jednostek oceanotechnicznych, tak więc istnieje możliwość przeniesienia metodyki dla prostszych siłowni statków o przeznaczeniu transportowym.

Otrzymano:

Literatura

- [1] American Bureau of Shipping.: Risk assessment applications for marine and offshore oil and gas industries. ABS, Houston, June 2000.
- [2] 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.
- [3] 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.
- [4] Chybowski L., Matuszak Z.: Podstawy analizy jakościowej i ilościowej metody drzewa niezdatności. Zeszyty Naukowe nr 1 (73) Akademii Morskiej w Szczecinie, Explo-Ship 2004, Akademia Morska, Szczecin 2004, s. 129-144.
- [5] Chybowski L., Matuszak Z.: Symulacja niegotowości systemu siłowni okrętowej oparta na drzewie niezdatności. Zeszyty Naukowe nr 1 (73) Akademii Morskiej w Szczecinie, Explo-Ship 2004, Akademia Morska, Szczecin 2004, s. 145-159.
- [6] Help for CARA Fault-Tree version 4.1. Sydvest Software, Trondheim, Norway 1999.
- [7] Lungmen Units 1 & 2. Preliminary Safety Analysis Report. TEP. General Electric. 2000.
- [8] OREDA - Offshore Reliability Data Handbook. 3rd Edition. Det Norske Veritas, Høvik 1997.
- [9] Vesely W. E., Goldberg F. F., Roberts N. H., Haasl D. F.: Fault Tree Handbook. NUREG-0492. U. S. Nuclear Regulatory Commission, Government Printing Office, Washington, January 1981.

Estimation of unavailability of selected offshore vessel's marine power plant systems

The paper contains presentation of research procedure for estimation of unavailability of selected marine power plant systems of offshore vessel. Selected steps of procedure, i.e. presentation of analysed object, selected models in form of functional structure and fault trees, and presentation of computer codes used in research have been shown.

Recenzenci: