

MGR INŻ. LESZEK CHYBOWSKI
Politechnika Szczecińska
Wydział Mechaniczny
Studium Doktoranckie

ANALIZA PRACY SYSTEMU ENERGETYCZNO-NAPĘDOWEGO STATKU TYPU OFFSHORE Z WYKORZYSTANIEM METODY DRZEW USZKODZEŃ

STRESZCZENIE

W materiale przedstawiono analizę pracy systemu energetyczno-napędowego statku typu offshore z wykorzystaniem metody drzew uszkodzeń. Przedstawiono budowę systemu oraz przykładowe drzewa uszkodzeń odpowiadające różnym stanom eksploatacyjnym.

1. Wprowadzenie

Analiza systemów w oparciu o drzewa uszkodzeń polega na szczegółowym i dedukcyjnym badaniu zasad pracy rozpatrywanego obiektu technicznego [3]. Metodę tę wykorzystuje się w analizie niezawodnościowej na etapie projektowania oraz jako pomoc w diagnozowaniu stanów systemów będących w eksploatacji.

Niezawodność siłowni okrętowej, jej systemów oraz elementów funkcjonalnych jest jedną z podstawowych cech mających na celu zapewnienie statkowi będącemu w eksploatacji możliwości spełnienia jego podstawowych zadań, jakimi są transport towarów, ludzi oraz spełnienie funkcji specjalnych. Analiza stanu technicznego maszyn i urządzeń siłowni pozwala na wyodrębnienie najbardziej zawodnych elementów oraz implikuje stosowanie różnego typu metod, mających na celu zmniejszenie awaryjności, na etapie konstruowania i budowy nowych jednostek pływających oraz zmiany procedur eksploatacyjnych [1].

Drzewa uszkodzeń stanowią modele, które są graficznym odwzorowaniem zapisu logicznego kombinacji możliwych zdarzeń mogących wystąpić w czasie eksploatacji systemu technicznego. Analizie podlegają zdarzenia elementarne, które w efekcie zaistnienia mogą doprowadzić do zajścia zdarzenia szczytowego. Jako zdarzenia traktować należy wszelkie dynamiczne zmiany w strukturze i działaniu elementów będących fizyczną częścią systemu lub podsystemu.

Elementy składowe systemów siłowni okrętowych mogą podlegać zdarzeniom, które 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.).

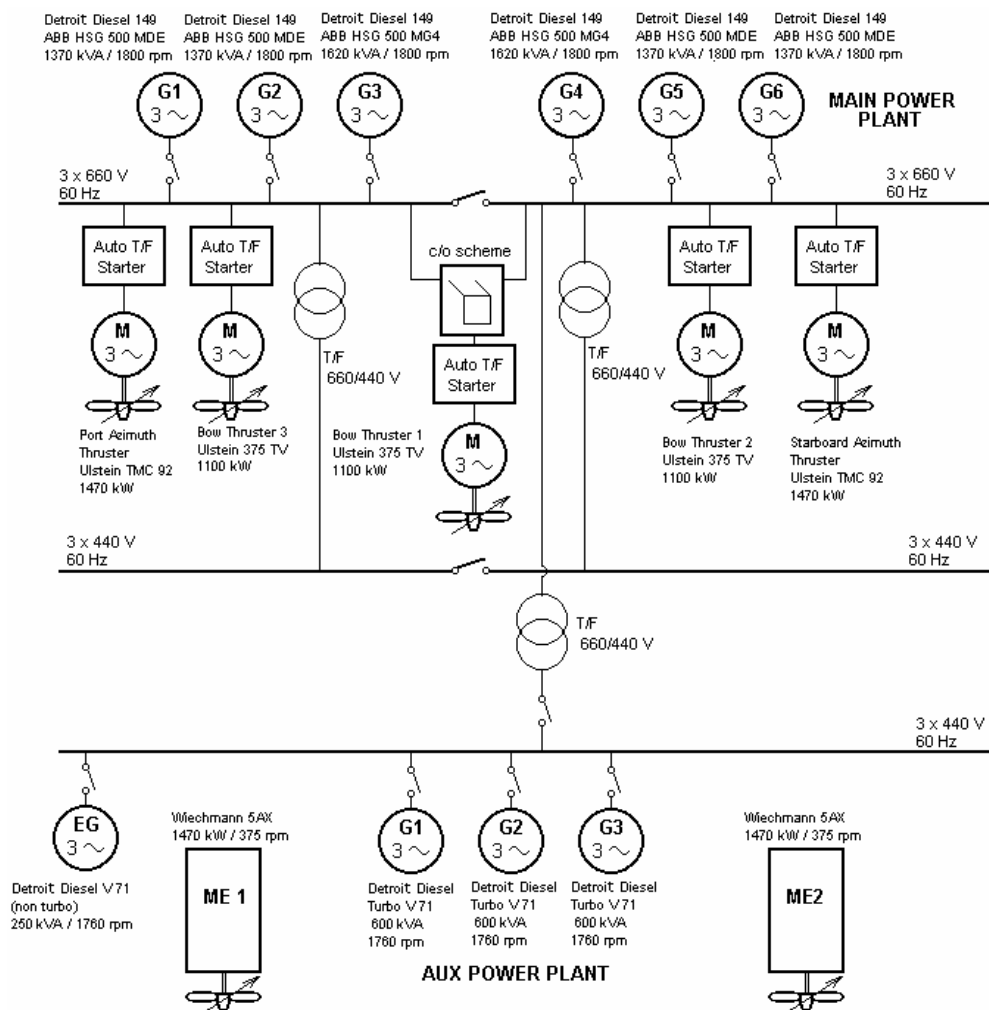
Niniejszy materiał stanowi wstęp do oszacowania niezawodności oraz badania podatności diagnostycznej omawianego systemu, które to analizy z uwagi na ograniczone ramy niniejszej publikacji nie zostaną przytoczone.

2. Charakterystyka obiektu analizy

Analizę przeprowadzono na przykładzie systemu energetyczno-napędowego *SEN* statku DSV Seaway Kestrel, specjalizującego się w układaniu kabli oraz pracach nurkowych [2]. Statek wyposażony jest w system dynamicznego pozycjonowania (DP System) *Simrad ADP 703* z rezerwowym systemem *ADP 701*.

Uproszczony schemat omawianego systemu energetyczno-napędowego przedstawiono na rysunku 1. W analizie uwzględniono następujące elementy systemu: elektrownia główna (4 x *Detroit Diesel 149 – ABB HSG 500 MDE* – 1370 kVA/1800 obr/min oraz 2 x *Detroit Diesel 149 – ABB HSG 500 MG4* – 1620 kVA/1800 obr/min), elektrownia pomocnicza (3 x *Detroit Diesel V71 Turbo* – 600 kVA/1760 obr/min), napęd główny spalinowy (2 x *Wiechmann 5AX* – 1470 kW/375 obr/min), napęd pomocniczy elektryczny (2 x *Ulstein TMC92* – 1470 kW) oraz dziobowe stery strumieniowe (3 x *Ulstein 375 TV* – 1100 kW).

System podlegał obserwacji podczas pracy siłowni w różnych stanach eksploatacyjnych związanych z pełnieniem przez statek różnych funkcji, a mianowicie praca podczas postoju w porcie, jazdy morskiej oraz pracy systemu DP. Inne stany np. praca w warunkach awaryjnych nie zostały uwzględnione.



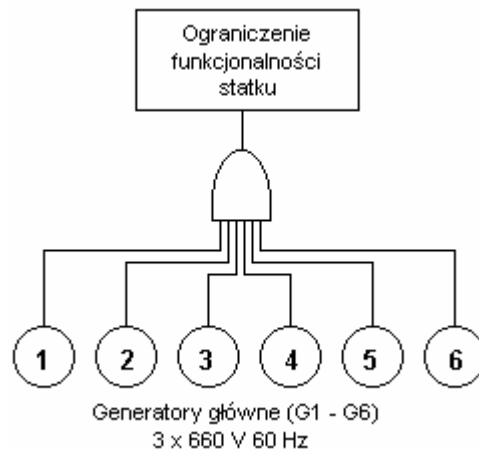
Rys. 1. Uproszczony schemat systemu energetyczno-napędowego statku DSV Seaway Kestrel

3. Analiza stanów eksploatacyjnych systemu energetyczno-napędowego

System energetyczno-napędowy statku jest podstawową strukturą siłowni okrętowej mającą na celu swojego działania wytworzenie i zapewnienie dopływu energii o odpowiednich parametrach dla napędu statku oraz mechanizmów pomocniczych. Z uwagi na różne stany, w jakich może znaleźć się statek także i system energetyczno-napędowy zmienia swoją strukturę funkcjonalną.

3.1. Praca SEN podczas postoju statku w porcie

Praca systemu energetyczno-napędowego podczas postoju statku w porcie została zaprezentowana na rysunku 2. Dla zapewnienia napędu mechanizmom pomocniczym siłowni oraz urządzeniom pokładowym konieczna jest praca przynajmniej jednego głównego zespołu prądowórczego.



Rys. 2. Drzewo uszkodzeń systemu energetyczno-napędowego podczas postoju statku w porcie

Zaistnienie zdarzenia szczytowego ($ZS=1$) określonego tu jako *Ograniczenie funkcjonalności statku* wymaga w tym przypadku niezdatności wszystkich sześciu głównych zespołów prądowórczych. Omówioną kombinację zdarzeń można sprowadzić do zapisu w formie algebry Boole'a.

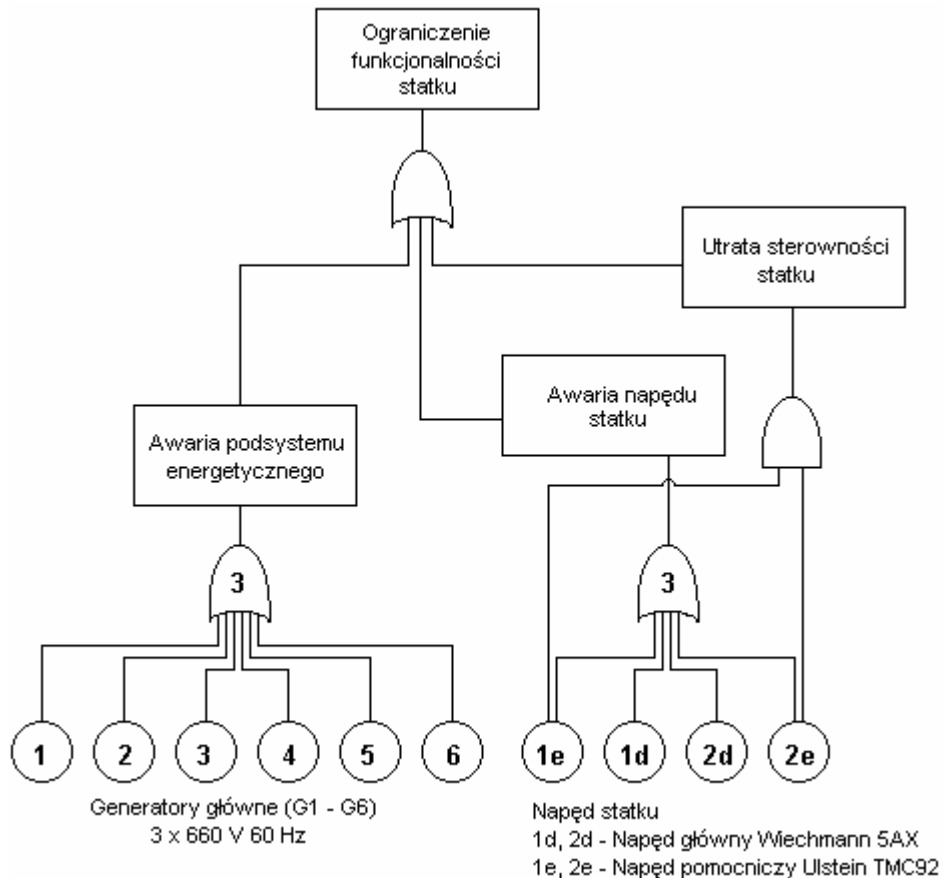
$$ZS = E_1 \wedge E_2 \wedge E_3 \wedge E_4 \wedge E_5 \wedge E_6 \quad (1)$$

gdzie: E_n – zdarzenie elementarne odwzorowujące stan n -tego elementu systemu, przyjmujące wartość 0 dla stanu zdatności danego elementu lub 1 dla stanu niezdatności.

Jak widać drzewo uszkodzeń dla tego stanu eksploatacyjnego obrazuje bardzo duży zapas niezawodności związany z redundancją elementów składowych (rezerwowanie rozdzielcze).

3.2. Praca SEN podczas jazdy morskiej

Rysunek 3 przedstawia przykładowe drzewo uszkodzeń systemu energetyczno-napędowego dla stanu jazdy morskiej statku.



Rys. 3. Drzewo uszkodzeń systemu energetyczno-napędowego podczas jazdy morskiej

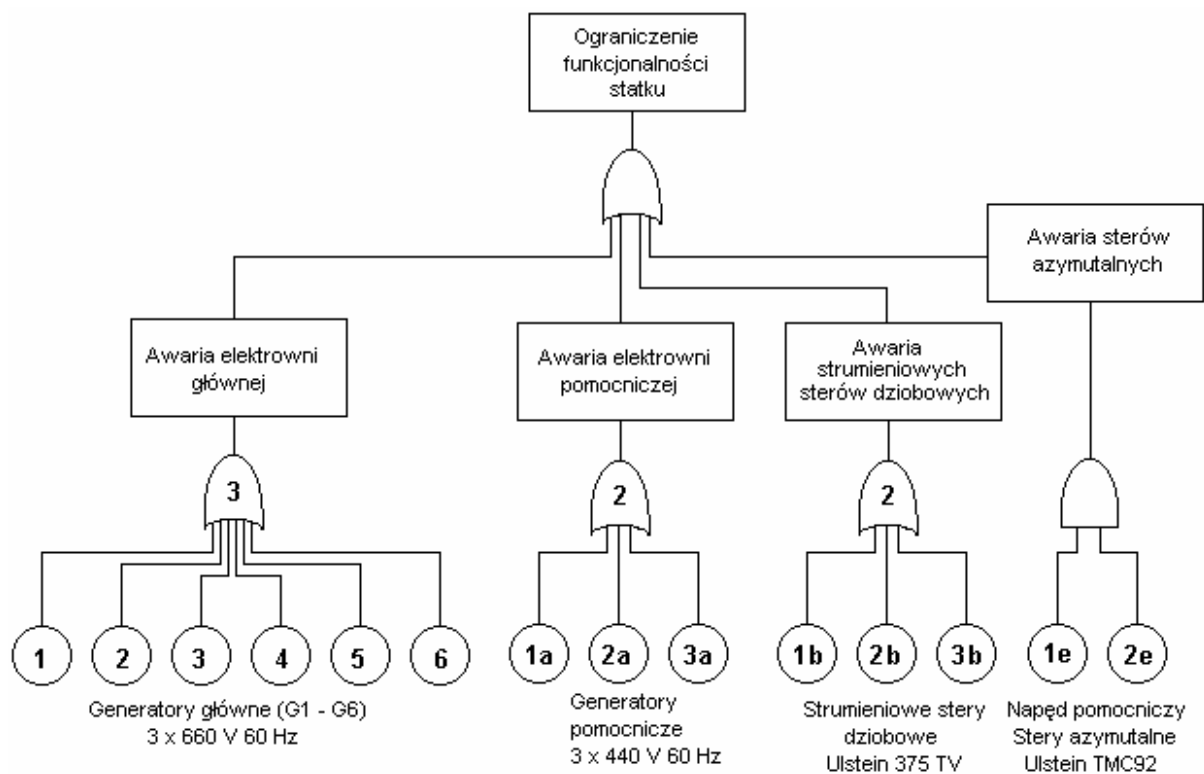
Struktura reprezentowana przez powyższe drzewo jest bardziej złożona od poprzedniej z uwagi na dodatkowe elementy realizujące funkcje konieczne dla zapewnienia statkowi pełnej funkcjonalności w czasie jazdy morskiej. Aby to osiągnąć konieczna jest poprawna praca przynajmniej czterech głównych zespołów prądowców, przynajmniej jednego steru azymutalnego oraz przynajmniej dwóch zespołów napędowych.

Omawiane drzewo uszkodzeń można sprowadzić do zapisu w formie algebry Boole'a, który przyjmuje postać pokazaną w równaniu (2). Oznaczenia elementów zostały zachowane za rys. 3.

$$\begin{aligned}
 ZS = & [E_1 \wedge E_2 \wedge (E_3 \vee E_4 \vee E_5 \vee E_6)] \vee [E_1 \wedge E_3 \wedge (E_4 \vee E_5 \vee E_6)] \vee [E_1 \wedge E_4 \wedge (E_5 \vee E_6)] \vee \\
 & \vee [E_5 \wedge E_6 \wedge (E_1 \vee E_2 \vee E_3 \vee E_4)] \vee [E_2 \wedge E_3 \wedge (E_4 \vee E_5 \vee E_6)] \vee [E_2 \wedge E_4 \wedge (E_5 \vee E_6)] \vee \\
 & \vee [(E_3 \wedge E_4 \wedge (E_5 \vee E_6)) \vee (E_{1e} \wedge E_{2e}) \vee [E_{1d} \wedge E_{2d} \wedge (E_{1e} \vee E_{2e})]]
 \end{aligned}
 \tag{2}$$

3.3. Praca SEN podczas pracy z systemem DP

W czasie prac podwodnych statek utrzymywany jest w określonym położeniu dzięki systemowi dynamicznego pozycjonowania *DP*. Głównymi odbiorami energii elektrycznej tego systemu są strumieniowe stery dziobowe oraz stery azymutalne. Rysunek 4 przedstawia przykładowe drzewo uszkodzeń systemu energetyczno-napędowego dla statku podczas pracy z systemem *DP*.



Rys. 4. Drzewo uszkodzeń systemu energetyczno-napędowego podczas pracy systemu DP

Struktura przedstawiona na rysunku 4 jest najbardziej złożoną z uwagi na konieczność pracy dużej liczby podzespołów. Układy zapasowe sterów znajdują się w stanie rezerwy gorącej. Dla zapewnienia pełnej funkcjonalności statku konieczna jest poprawna praca przynajmniej: czterech głównych zespołów prądowców, dwóch pomocniczych zespołów prądowców, jednego steru azymutalnego oraz dwóch dziobowych sterów strumieniowych. Omawiane drzewo uszkodzeń można sprowadzić do zapisu w formie algebry Boole'a, który przyjmuje postać pokazaną w równaniu (3). Oznaczenia elementów zostały zachowane za rysunkiem 4.

$$\begin{aligned}
 ZS = & [E_1 \wedge E_2 \wedge (E_3 \vee E_4 \vee E_5 \vee E_6)] \vee [E_1 \wedge E_3 \wedge (E_4 \vee E_5 \vee E_6)] \vee [E_1 \wedge E_4 \wedge (E_5 \vee E_6)] \vee \\
 & \vee [E_5 \wedge E_6 \wedge (E_1 \vee E_2 \vee E_3 \vee E_4)] \vee [E_2 \wedge E_3 \wedge (E_4 \vee E_5 \vee E_6)] \vee [E_2 \wedge E_4 \wedge (E_5 \vee E_6)] \vee \\
 & \vee [(E_3 \wedge E_4 \wedge (E_5 \vee E_6))] \vee [E_{1a} \wedge (E_{2a} \vee E_{3a})] \vee (E_{2a} \wedge E_{3a}) \vee [E_{1b} \wedge (E_{2b} \vee E_{3b})] \vee \\
 & \vee (E_{2b} \wedge E_{3b}) \vee (E_{1e} \wedge E_{2e})
 \end{aligned}
 \tag{3}$$

4. Wnioski

System energetyczno-napędowy statku typu offshore znacznie odbiega pod względem konstrukcji od systemów stosowanych na statkach transportowych z uwagi na jego bardzo wysoki poziom rezerwowania w postaci nadmiaru strukturalnego, funkcjonalnego oraz rezerwowania rozdzielczego [4]. Pod kątem struktury najbardziej zbliżonym z trzech zaprezentowanych drzew uszkodzeń do drzewa odpowiadającego statkowi transportowemu (przyjęto układ porównawczy: 1 x wysokoprężny wolnoobrotowy silnik napędu głównego +

3 x pomocnicze zespoły prądotwórcze, z czego 2 muszą pracować w warunkach maksymalnego poboru mocy) jest stan podczas pracy w porcie. Jest to najmniej złożony i jednocześnie najbardziej niezawodny stan systemu energetyczno-napędowego statku typu offshore. Pozostałe stany eksploatacyjne przedstawionego statku wykazują znacznie wyższą złożoność.

Drzewa uszkodzeń nadają się do prezentacji i modelowania systemów o zmiennej strukturze funkcjonalnej, co jest związane z przejmowaniem funkcji pełnionych przez elementy podstawowe systemu przez elementy rezerwowe w wyniku zaistnienia niezdatności oraz zmianą stanu eksploatacyjnego, w jakim znajduje się analizowany obiekt techniczny, co jest związane ze zmianami w sterowaniu i zapotrzebowaniu mocy zasilanych maszyn i urządzeń.

Na etapie projektowania instalacji siłowni okrętowej, które to charakteryzują się zmienną w czasie strukturą funkcjonalną zastosowanie metody drzew uszkodzeń wydaje się być bardzo korzystnym rozwiązaniem z uwagi na jej obrazowość oraz dostępność oprogramowania klasy FTA (*Fault Tree Analysis*). Użycie metody drzew uszkodzeń jako pomocy w analizie potencjalnych stanów eksploatacyjnych może być z powodzeniem stosowane w odniesieniu do systemów siłowni okrętowej.

Przy dogłębnej dekompozycji omawianych systemów metoda drzew uszkodzeń może stanowić pomoc podczas w diagnozowaniu instalacji okrętowych, ponieważ zapis matematyczny drzewa uszkodzeń w formie algebry Boole'a może stanowić reprezentację wiedzy o systemie technicznym dla szkieletowych programów diagnostycznych.

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. Materiały firmowe.: Seaway Kestrel – Specifications. Stolt Offshore 5/00
3. Matuszak Z., Surma T.: Drzewo uszkodzeń i elementy algebry Boole'a jako sposób oceny niezawodności i diagnozowania instalacji siłowni okrętowej. Materiały XVI Sesji Naukowej Okrętowców, Szczecin - Dziwnówek 1994. Wyd. Stoczni Szczecińskiej S.A., Szczecin 1994, cz. II, s. 69-76.
4. Nicewicz G., Grzebieniak R.: Rezerwowanie w systemie energetyczno-napędowym siłowni statku wiertniczego i statku transportowego. Materiały 22 MSN, Zielona Góra, Maj 2001. Tom Mechanika s. 13-18.

Analysis of operation offshore vessel's power plant unit with use of fault trees method

SUMMARY

This paper contains analysis of operation offshore vessel's power plant unit with use of fault trees method. Propulsion and power plants construction and fault trees for different operation states of this system were presented.