

WYKORZYSTANIE PRZEKROJÓW MINIMALNYCH DO ANALIZY PRACY INSTALACJI OKRĘTOWEJ

1. Wprowadzenie

Każde drzewo uszkodzeń jest w pełni przekształcalne w równoważny zbiór równań logicznych, który może posłużyć do przeprowadzenia analizy jakościowej. Przedstawienie drzew uszkodzeń w formie równań boolowskich pozwala na ich wykorzystanie do określenia zbioru przekrojów minimalnych odpowiadających danemu drzewu uszkodzeń.

Przekrojem minimalnym określa się najmniej liczną kombinację zdarzeń elementarnych danego drzewa uszkodzeń, których jednoczesne wystąpienie powoduje zaistnienie stanu niezdatności określonego przez zdarzenie szczytowe. Każde drzewo posiada skończoną ilość przekrojów minimalnych. Wyróżnia się przekroje minimalne jedno- lub wieloelementowe. Przekrój minimalny k -elementowy stanowi kombinację k zdarzeń elementarnych, które muszą zdarzyć się wszystkie, aby zaistniało zdarzenie szczytowe określonego drzewa uszkodzeń.

2. Wykorzystanie przekrojów minimalnych w analizie przykładowej instalacji okrętowej

Zbiór przekrojów minimalnych właściwych dla danego zdarzenia szczytowego ZS można przedstawić za pomocą równania:

$$ZS = P_{m,1} + P_{m,2} + \dots + P_{m,n} = \sum_{j=1}^n P_{m,j} \quad (2.1)$$

gdzie: $P_{m,j}$ – j -ty przekrój minimalny należący do zbioru,

n – liczba przekrojów minimalnych.

Każdy przekrój minimalny składający się z k -elementowej kombinacji zdarzeń elementarnych można przedstawić w postaci:

$$P_{m,j} = E_{1,j} \cdot E_{2,j} \cdot \dots \cdot E_{k,j} \quad (2.2)$$

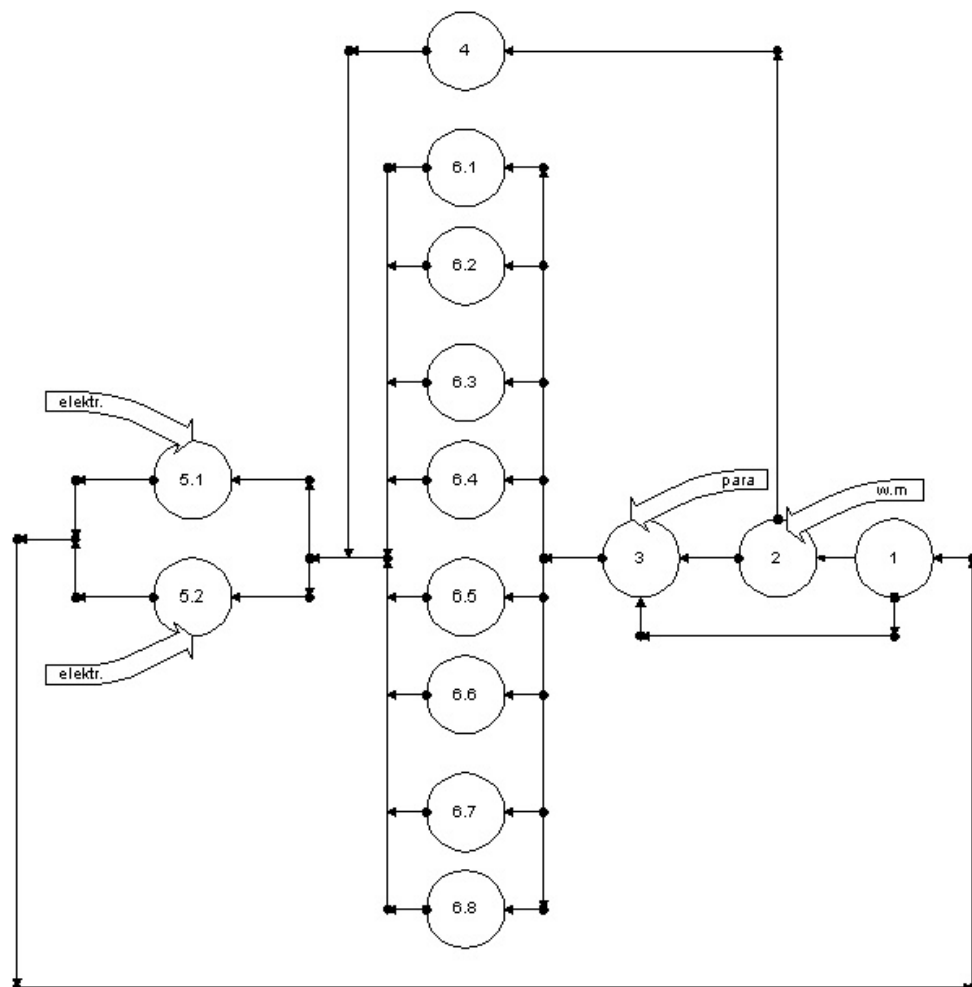
gdzie: $E_{1,j}, E_{2,j}, \dots, E_{k,j}$ – zdarzenia elementarne wchodzące do j -tego przekroju minimalnego,

k – liczba zdarzeń elementarnych j -tego przekroju minimalnego.

Wyznaczenie zbioru przekrojów minimalnych dla danego drzewa uszkodzeń wymaga zamiany drzewa uszkodzeń na równoważny mu zbiór równań logicznych oraz określenia zdarzenia szczytowego przy wykorzystaniu algebry Boole'a na drodze analizy drzewa uszkodzeń [4].

Dla określonego drzewa uszkodzeń można wydzielić elementy, które muszą znajdować się w stanie zdatności aby cały system znajdował się w stanie zdatności technicznej. Elementy te tworzą tzw. *drogi*, które zawierają nieuszkodzone elementy podczas zdatności całego systemu technicznego. Budując drogi zdatności nie uwzględnia się jednoczesnej pracy kilku równoległych względem siebie elementów struktury.

Analizując struktury niezawodnościowe systemów można wskazać elementy, które w przypadku uszkodzenia powodują niezdatność całego systemu. Elementy, których zbiór powoduje uszkodzenie całej struktury tworzą *przekrój niezdatności*.



Rys. 1. Struktura funkcjonalna przepływu czynników w systemie chłodzenia wodą słodką cylindrów silnika głównego

Przeprowadzono analizę okrętowej instalacji chłodzenia wodą słodką cylindrów silnika głównego na jednym ze statków PŻM (serii B-591) [3]. Struktura funkcjonalna tej instalacji została przedstawiona na rysunku 1. Zaprezentowany graf obejmuje następujące elementy składowe: pompy obiegowe (5.1 i 5.2), zawór termostatyczny (1), chłodnica (2), podgrzewacz parowy (3), zbiornik obiegowo-wyrównawczy (4), przestrzenie chłodzące silnika indywidualnych dla każdego cylindra (6.1 – 6.8). Struktura przedstawia również wymianę czynników energetycznych w systemie co zostało oznaczone jako: *elektr.* – zasilanie elektryczne elementu, *para* – do elementu doprowadzana jest energia cieplna za pośrednictwem pary wodnej, *w.m.* – w elemencie ciepło jest odbierane przez wodę morską. Podczas normalnej pracy systemu pracuje jedna z dwóch pomp cyrkulacyjnych. Dopuszcza się awaryjną pracę systemu przy niezdatnym jednym układzie chłodzenia na silniku.

Drogi zawierające nieuszkodzone elementy instalacji chłodzenia wodą słodką cylindrów silnika głównego (rys. 1) zostały przedstawione w tabeli 1.

Tabela 1. Drogi zapewniające zdatność instalacji chłodzenia cylindrów

| Droga zdatności | Zbiór elementów zdatnych |
|------------------------|---|
| I | 1, 2, 3, 4, 5.1, 6.2, 6.3, 6.4, 6.5, 6.6, 6.7, 6.8 |
| II | 1, 2, 3, 4, 5.1, 6.1, 6.3, 6.4, 6.5, 6.6, 6.7, 6.8, |
| III | 1, 2, 3, 4, 5.1, 6.1, 6.2, 6.4, 6.5, 6.6, 6.7, 6.8 |
| IV | 1, 2, 3, 4, 5.1, 6.1, 6.2, 6.3, 6.5, 6.6, 6.7, 6.8 |
| V | 1, 2, 3, 4, 5.1, 6.1, 6.2, 6.3, 6.4, 6.6, 6.7, 6.8 |
| VI | 1, 2, 3, 4, 5.1, 6.1, 6.2, 6.3, 6.4, 6.5, 6.7, 6.8 |
| VII | 1, 2, 3, 4, 5.1, 6.1, 6.2, 6.3, 6.4, 6.5, 6.6, 6.8 |
| VIII | 1, 2, 3, 4, 5.1, 6.1, 6.2, 6.3, 6.4, 6.5, 6.6, 6.7 |
| IX | 1, 2, 3, 4, 5.2, 6.2, 6.3, 6.4, 6.5, 6.6, 6.7, 6.8 |
| X | 1, 2, 3, 4, 5.2, 6.1, 6.3, 6.4, 6.5, 6.6, 6.7, 6.8, |
| XI | 1, 2, 3, 4, 5.2, 6.1, 6.2, 6.4, 6.5, 6.6, 6.7, 6.8 |
| XII | 1, 2, 3, 4, 5.2, 6.1, 6.2, 6.3, 6.5, 6.6, 6.7, 6.8 |
| XIII | 1, 2, 3, 4, 5.2, 6.1, 6.2, 6.3, 6.4, 6.6, 6.7, 6.8 |
| XIV | 1, 2, 3, 4, 5.2, 6.1, 6.2, 6.3, 6.4, 6.5, 6.7, 6.8 |
| XV | 1, 2, 3, 4, 5.2, 6.1, 6.2, 6.3, 6.4, 6.5, 6.6, 6.8 |
| XVI | 1, 2, 3, 4, 5.2, 6.1, 6.2, 6.3, 6.4, 6.5, 6.6, 6.7 |

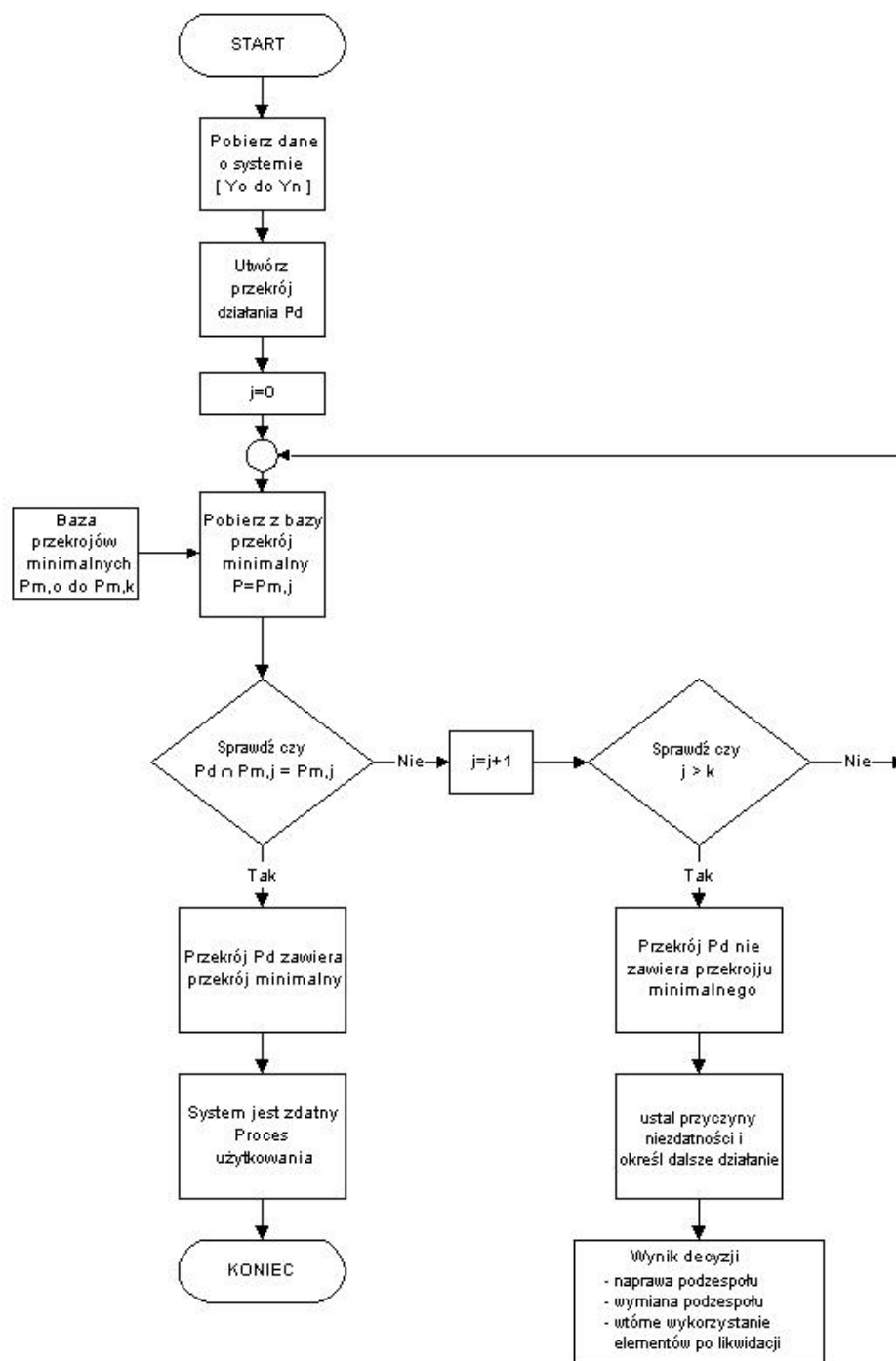
Po wyznaczeniu dróg zdatności struktury, sporządza się macierz binarną o wymiarach [*możliwe drogi x elementy struktury*]. Pozycja macierzy odpowiadająca elementowi, który nie uczestniczy w pracy systemu w danej drodze zdatności przyjmuje wartość 0, zaś tam gdzie

element uczestniczy pozycja przyjmuje wartość 1. W tabeli 2 przedstawiono macierz do wyznaczania przekrojów niezdatności instalacji chłodzenia wodą słodką cylindrów silnika głównego.

Tabela 2. Podstawowa macierz do wyznaczania przekrojów niezdatności dla instalacji chłodzenia wodą słodką cylindrów silnika głównego

| Droga zdatności | Oznaczenie elementu | | | | | | | | | | | | | |
|-----------------|---------------------|---|---|---|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5.1 | 5.2 | 6.1 | 6.2 | 6.3 | 6.4 | 6.5 | 6.6 | 6.7 | 6.8 |
| I | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| II | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| III | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| IV | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| V | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 |
| VI | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 |
| VII | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 |
| VIII | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 |
| IX | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| X | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| XI | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| XII | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| XIII | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 |
| XIV | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 |
| XV | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 |
| XVI | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 |

Istnieje wiele metod diagnostycznych stosowanych w technice [5]. Komputerowa adaptacja drzew uszkodzeń i metod pochodnych (binarny zapis drzewa uszkodzeń lub zbiór przekrojów minimalnych wyznaczonych w oparciu o drzewo uszkodzeń) w lokalizacji uszkodzeń systemów okrętowych może stanowić pomoc w ocenie przyczyn uszkodzeń złożonych systemów technicznych. Przykład takiego modelu w formie algorytmu, który stanowi podstawę do budowy programu komputerowego pokazano na rysunku 2. Algorytm ten wykorzystujący bazę przekrojów minimalnych pozwala na określenie stanu systemu i lokalizację uszkodzeń w przypadku zaistnienia stanu niezdatności. Dane wejściowe mogą być wprowadzane w sposób automatyczny (np. sygnały z czujników).



Rys. 2. Algorytm kontroli stanu systemu wykorzystujący bazę przekrojów minimalnych

3. Wnioski

Drzewa uszkodzeń stanowią doskonały materiał do wykorzystania ich w komputerowych systemach doradczych, pozwalających zwiększyć efektywność diagnozowania instalacji okrętowych, a co za tym idzie zmniejszyć straty finansowe związane z czasem wyłączenia statku morskiego z eksploatacji oraz zminimalizować zagrożenia, takie jak: utrata życia i zdrowia personelu, strata statku i ładunków, możliwość zaistnienia zagrożeń

dla współuczestników ruchu morskiego oraz zanieczyszczenia środowiska naturalnego. Jest to szczególnie istotne w odniesieniu do systemów obsługujących układ ruchowy statku, elektrownię okrętową, układ sterowy oraz systemy awaryjne.

Istnieje możliwość wykorzystania testów diagnostycznych np.: metody macierzy boolowskich [5] do analizy poszczególnych gałęzi w drzewach uszkodzeń. Metoda drzew uszkodzeń wykorzystywana jest w różnych dziedzinach technicznych, uzasadnione jest więc wykorzystanie jej w odniesieniu do oceny zdatności systemów siłowni okrętowej. Warunkiem zastosowania tej metody oraz metod pochodnych jest opracowanie odpowiedniego modelu matematycznego [1, 2, 4], który po uwzględnieniu wyników obserwacji uszkodzeń oraz parametrów pracy elementów systemów siłowni pozwoli opisać formułami matematycznymi możliwy stan techniczny maszyn i urządzeń siłowni okrętowej.

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. Dokumentacja stoczniowa statków serii B-591
4. 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.
5. Żółtowski B.: *Podstawy diagnostyki maszyn*. Wydawnictwo Uczelniane Akademii Techniczno-Rolniczej, Bydgoszcz 1996, s. 309-337.

THE USE OF MINIMAL CROSS-SECTIONS IN WORK ANALYSE OF MARINE POWER PLANT INSTALLATION

In this paper, functional structure of fresh water main engine cylinder cooling system installed on one of the PZM ships (B-591 series) was presented. Suitable ways and basic matrix for finding minimal cross-sections for this system was introduced. Example of algorithm for state control and damage location in technical system was shown.