

WYKORZYSTANIE METODYKI PRZEKROJÓW I ŚCIEŻEK MINIMALNYCH DLA SZACOWANIA NIEZAWODNOŚCI SYSTEMÓW SIŁOWNI OBIEKTÓW OCEANOTECHNICZNYCH

1. Wprowadzenie

Systemy z nadmiarem strukturalnym można opisać wykorzystując minimalne przekroje niezdatności oraz minimalne ścieżki zdatności.

Ścieżką zdatności systemu nazywa się zbiór elementów, których jednoczesne przebywanie w stanie zdatności zapewnia stan zdatności systemu. Ścieżkę nazywa się minimalną jeśli zbiór elementów wchodzących w jej skład nie może zostać zredukowany bez utraty jej statusu ścieżki zdatności.

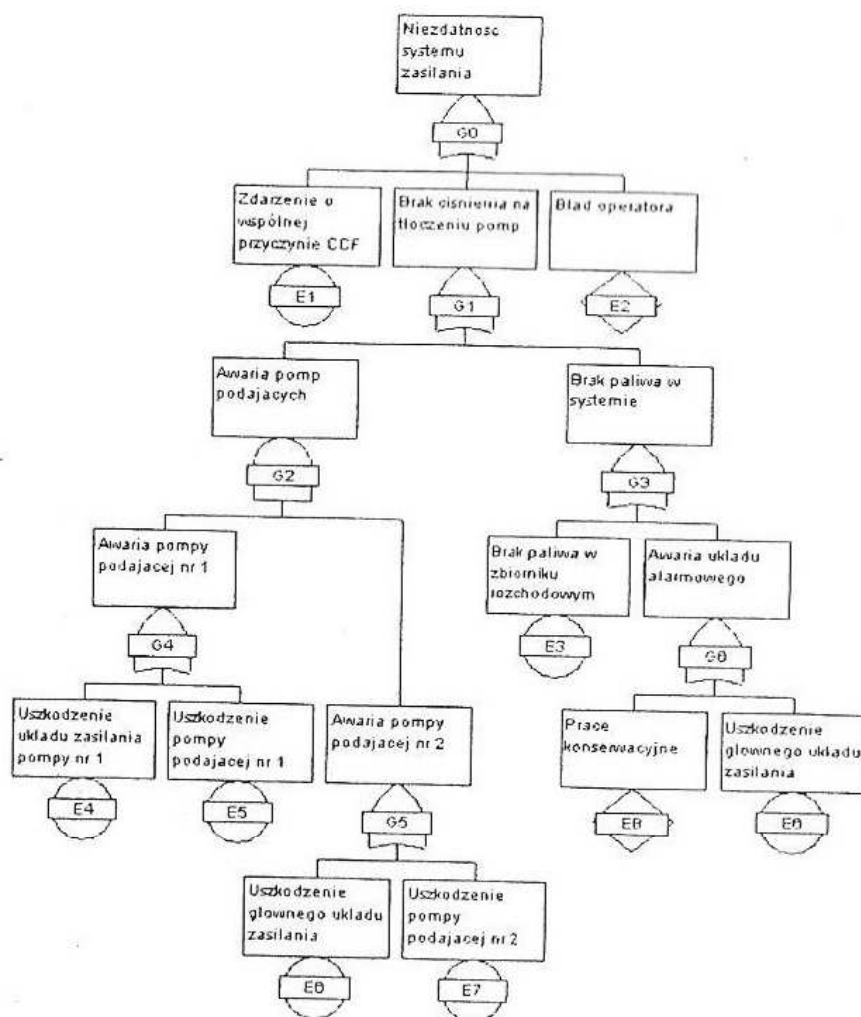
Przekrojem niezdatności analizowanego systemu nazywa się zbiór elementów (dynamicznych zmian w strukturze i funkcjonowaniu elementów systemu) pierwotnych (nie podlegających dalszej dekompozycji na przyjętym poziomie analizy), których równoczesne przejście w stan niezdatności powoduje niezdatność systemu. Przekrój nazywa się minimalnym jeśli nie jest możliwe zredukowanie zbioru elementów wchodzących w jego skład, bez utraty jego statusu przekroju niezdatności.

2. Poszukiwanie przekrojów i ścieżek minimalnych

Algorytm MOCUS (ang. *Method for Obtaining Cut Sets*) opracowany przez Fusella, Henrego i Marshall [3] jest powszechnie stosowaną metodą znajdowania przekrojów oraz ścieżek minimalnych, na drodze analizy drzewa niezdatności w kierunku od góry (zdarzenia szczytowego), ku dołowi. Zasadę działania algorytmu przedstawiono na przykładzie drzewa niezdatności zaprezentowanego na rys. 1.

Analizowane drzewo zawiera bramki oznaczone odpowiednio od $G0$ do $G6$. Analizę rozpoczyna się od bramki prowadzącej do zdarzenia szczytowego, w tym przypadku jest to bramka $G0$.

Prowadząc analizę wprowadza się do macierzy zdarzeń (rozbudowa macierzy) M_z kolejne zdarzenia posuwając się w analizie drzewa ku dołowi, tak długo aż zostaną wprowadzone wszystkie zdarzenia pierwotne (nie rozwijalne na przyjętym poziomie dekompozycji systemu) drzewa niezdatności.



Rys. 1. Przykładowe drzewo niezdatności dla prezentacji działania algorytmu MOCUS

Jeśli jest to bramka OR wówczas wprowadza się zdarzenia wejściowe jedno pod drugim w kolejnych wierszach macierzy. W tym przypadku jest to:

$$M_z = \begin{bmatrix} 1 \\ G1 \\ 2 \end{bmatrix} \quad (1)$$

Jeśli rozważana bramka byłaby bramką AND wówczas wprowadza się wszystkie zdarzenia wejściowe bramki w jednym wierszu, ponieważ wszystkie zdarzenia wejściowe

należą do jednego przekroju minimalnego na danym poziomie dekompozycji, tu byłby to wiersz pierwszy:

$$M_z = [1 \quad G1 \quad 2] \quad (2)$$

Analogicznie ewaluuje się następne bramki rozpatrując ich kolejne wejścia czyli zdarzenia pierwotne oraz nowe bramki. Dla przedstawionego przykładu rozwija się kolejne wiersze macierzy w następujący sposób – ponieważ $G1$ jest bramką typu OR w następnym kroku macierz zdarzeń przyjmuje postać:

$$M_z = \begin{bmatrix} 1 \\ G2 \\ G3 \\ 2 \end{bmatrix} \quad (3)$$

Ponieważ $G2$ jest bramką AND , a $G3$, $G4$, $G5$ i $G6$ są bramkami typu OR kolejno otrzymuje się:

$$M_z = \begin{bmatrix} 1 & - \\ G4 & G5 \\ G3 & - \\ 2 & - \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & - \\ G4 & G5 \\ 3 & - \\ G6 & - \\ 2 & - \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & - \\ 4 & G5 \\ 5 & G5 \\ 3 & - \\ G6 & - \\ 2 & - \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & - \\ 4 & 6 \\ 4 & 7 \\ 5 & 6 \\ 5 & 7 \\ 3 & - \\ G6 & - \\ 2 & - \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & - \\ 4 & 6 \\ 4 & 7 \\ 5 & 6 \\ 5 & 7 \\ 3 & - \\ 6 & - \\ 8 & - \\ 2 & - \end{bmatrix} \quad (4)$$

W wyniku przedstawionych operacji otrzymano 9 przekrojów drzewa niezdatności, które są zawarte w macierzy zdarzeń. Każdy wiersz zawiera jeden z przekrojów (nie koniecznie minimalnych) drzewa niezdatności, których zbiór możemy zapisać w formie:

$$\Omega = \{\{1\}, \{2\}, \{3\}, \{6\}, \{8\}, \{4,6\}, \{4,7\}, \{5,6\}, \{5,7\}\} \quad (5)$$

Następnie przeprowadza się analizę i poszukiwanie zbiorów zdarzeń zawierających inne zbiory należące do Ω , w celu pozbycia się przekrojów, które nie są minimalnymi. I tak ponieważ $\{6\}$ jest przekrojem drzewa to przekroje $\{4,6\}$ i $\{5,6\}$ nie są przekrojami minimalnymi. Po ich wykluczeniu ze zbioru wszystkich wynikowych przekrojów uzyskuje się zbiór przekrojów minimalnych drzewa niezdatności:

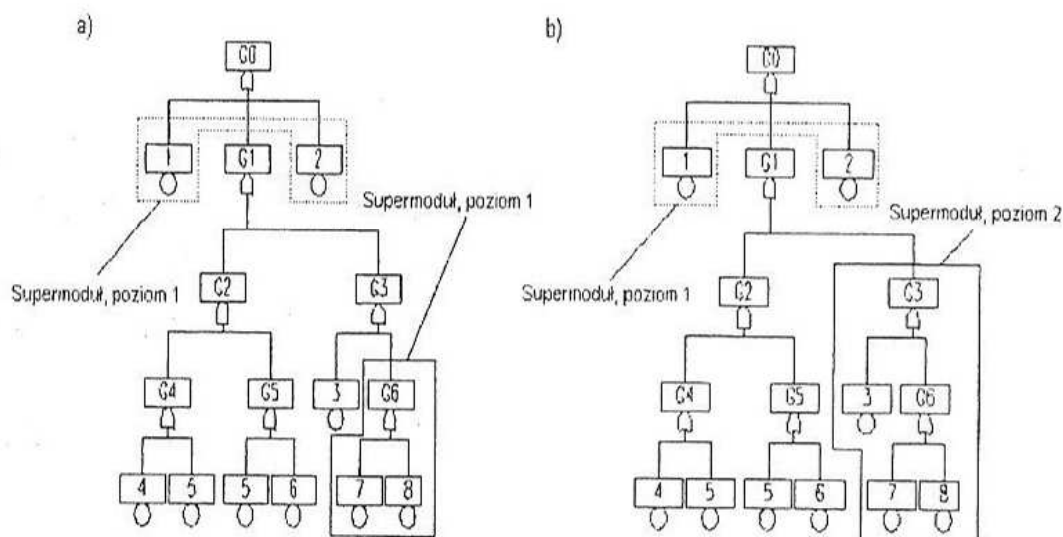
$$\Omega = \{\{1\}, \{2\}, \{3\}, \{6\}, \{8\}, \{4,7\}, \{5,7\}\} \quad (6)$$

Fakt, iż uzyskany w wyniku działania algorytmu zbiór (5) nie zawierał tylko i wyłącznie przekrojów minimalnych wynika z kilkukrotnego użycia zdarzenia nr 6 w drzewie niezdatności. Dla znalezienia minimalnych ścieżek drzewa niezdatności przeprowadza się identyczną procedurę jak dla przekrojów, jednak algorytm należy zastosować do tzw. dualnego drzewa niezdatności. Drzewo dualne buduje się z oryginalnego poprzez dokonanie konwersji bramek w taki sposób, że wszystkie bramki

AND w oryginalnym zastąpione zostają bramkami typu *OR* i odwrotnie. Wszystkie połączenia zdarzeń pierwotnych z bramkami w drzewie dualnym muszą być adekwatne do odpowiednich w drzewie pierwotnym.

3. Dekompozycja modularna drzewa niezdatności

W celu skrócenia czasu oraz zwiększenia dokładności obliczeń w analizie dużych i złożonych drzew niezdatności często przeprowadza się proces modularyzacji drzewa niezdatności przed rozpoczęciem właściwej analizy [4]. Programy komputerowe pozwalają modularyzację opartą na poszukiwaniu podzbiorów zdarzeń wejściowych (modułów), które zawierają wyłącznie nie powtarzające się zdarzenia wewnątrz modułu, a jednocześnie zdarzenia składowe modułu nie występują w drzewie niezdatności poza danym modulem. Przykładowa technika modularyzacji wykorzystana w używanym przez autorów programie *CARA-FaultTree* [1] oparta jest na przeszukaniu drzewa niezdatności w celu znalezienia tzw. supermodułów, które są poddrzewami ze zdarzeniami wejściowymi nie powtórzonymi wewnątrz i na zewnątrz danego poddrzewa. W zmodularyzowanym drzewie moduły są traktowane jak zdarzenia wejściowe o niegotowościach $q_i(t)$ wyznaczonych dokładną techniką rekursywną dla każdego z modułów. W programie *CARA-FaultTree* istnieje możliwość wyboru poziomu modularyzacji. Na rys. 2 zilustrowano to pojęcie.



Rys. 2. Supermoduły dla przykładowego drzewa niezdatności dla różnych poziomów modularyzacji

Na rys. 2a, przedstawiono dwa znalezione supermoduły dla poziomu demodularyzacji równego 1. Zdarzenia wejściowe do bramek G4 oraz G5 nie stanowią supermodułów, ponieważ zdarzenie wejściowe nr 5 powtórzone jest w obu bramkach. Na rys. 2b przedstawiono dwa znalezione supermoduły przy poziomie demodularyzacji

równym 2, górny supermoduły jako nie stanowiący elementu modułu wyższego poziomu został zamodelowany supermodułem poziomu 1. Podobnie jak poprzednio zdarzenia wejściowe do bramek $G4$ oraz $G5$ nie stanowią supermodułów, ponieważ zdarzenie wejściowe nr 5

Wykorzystanie dekompozycji modularnej pozwala na:

- zmniejszyć czas obliczeń potrzebnych dla wyznaczenia przekrojów minimalnych drzewa niezdatności (czas potrzebny na wyznaczenie supermodułu jest proporcjonalny do ilości zdarzeń wejściowych n , podczas gdy czas znalezienia przekroju minimalnego może być rzędu $2n$, gdzie n jest liczbą zdarzeń wejściowych);
- analiza oparta na oszacowaniach, może zostać udoskonalona jeśli obliczenia dla supermodułów operują się na algorytmach dokładnych (*ERAC*);
- ogólne zredukowanie czasu obliczeń opartych na algorytmach wykorzystujących znajomość przekrojów lub ścieżek minimalnych.

3. Analiza ilościowa ścieżek zdatności

Z punktu widzenia niezawodności elementy w minimalnej drodze tworzą strukturę szeregową. Jeśli α oznacza i -tą minimalną ścieżkę zdatności, a wówczas niezawodność i -tej ścieżki o elementach opisanych funkcjami niezawodności r_j jest określona formułą:

$$R_{si} = \prod_{j \in \alpha_i} r_j \quad (7)$$

Ponieważ w analizowanym systemie może istnieć wiele minimalnych dróg, tak więc rzeczywista struktura niezawodnościowa może zostać zastąpiona równoważną strukturą równoległo-szeregową, w której minimalne drogi są połączone równolegle.

Prawdopodobieństwo zdatności systemu, wynikające z analizowanej struktury i twierdzenia o sumie prawdopodobieństw ma postać:

$$P(FZ = 1) = P\left(\bigcup_{i=1}^m Z_i\right) = \sum_{i=1}^m P(Z_i) - \sum_{i>j} \binom{m}{2} P(Z_i, Z_j) + \sum_{i<j<k} \binom{m}{3} P(Z_i, Z_j, Z_k) + \dots + (-1)^{(m+1)} \cdot P(Z_1, Z_2, \dots, Z_m) \quad (8)$$

gdzie $(Z_1, Z_2, \dots, Z_m)$ – zbiór wszystkich minimalnych dróg, a prawdopodobieństwo

zdatności i -tej minimalnej drogi jest równe $P(Z_i) = \prod_{j=1}^{m_i} P_{ij}(t)$, $P_{ij}(t)$ – prawdopodobieństwo

zdatności j -tego elementu w i -tej minimalnej drodze, m_i – liczba elementów w i -tej minimalnej drodze.

Prawdopodobieństwo zdatności kilku minimalnych dróg wyznacza się z zależności:

$$P(Z_i, Z_j, Z_k) = P(Z_i = 1 \wedge Z_j = 1 \wedge Z_k = 1) = P(Z_i = 1) \cdot P(Z_j = 1 | Z_i = 1) \times \\ \times P(Z_k = 1 | Z_i = 1, Z_j = 1) \quad (9)$$

Ze względu na znaczną liczbę składników wzoru (9) wprowadza się założenie o niezależności minimalnych ścieżek zdatności oraz uszkodzeń ich elementów, co znacznie upraszcza postać wzoru do postaci:

$$P(FZ = 1) = 1 - \prod_{i=1}^m [1 - \prod_{j=1}^{m_i} P_{ij}(t)] \quad (10)$$

gdzie $P_{ij}(t)$ – prawdopodobieństwo zdatności j -tego elementu w i -tej minimalnej ścieżce, m – liczba minimalnych dróg w systemie, m_i – liczba elementów w i -tej minimalnej drodze.

4. Analiza ilościowa przekrojów niezdatności

Zdatność dowolnego elementu wchodzącego w skład minimalnego przekroju powoduje, że system jest zdatny. Tak więc elementy wchodzące w skład minimalnego przekroju w sensie niezawodnościowym tworzą strukturę równoległą. W analizowanym systemie może istnieć wiele minimalnych przekrojów, które muszą być jednocześnie zdatne, by system był zdatny. Jeśli β – i -ty minimalny przekrój niezdatności, wówczas niezawodność tego przekroju wynosi:

$$R_{\rho i} = 1 - \prod_{j \in \beta_i} (1 - r_j) \quad (11)$$

gdzie r_j – oznacza niezawodność j -tego elementu w danym i -tym przekroju.

Rzeczywista struktura niezawodnościowa systemu może być zastąpiona równoważną strukturą szeregowo-równoległą, w której minimalne przekroje połączone są szeregowo.

$$P(FZ = 0) = P\left(\bigcup_{k=1}^r N_k\right) = \sum_{k=1}^r P(N_k) - \sum_{k < j} \binom{r}{2} P(N_k, N_j) + \sum_{k < j < i} \binom{r}{3} P(N_k, N_j, N_i) + \\ + (-1)^{(r+1)} \cdot P(N_1, N_2, \dots, N_r) \quad (12)$$

Prawdopodobieństwo zdatności systemu jest dopełnieniem do jedności prawdopodobieństwa niezdatności

$$P(FZ = 1) = 1 - P\left(\bigcup_{k=1}^r N_k\right) \quad (13)$$

Z kolei prawdopodobieństwo niezdatności k -tego minimalnego przekroju niezdatności określa się z zależności:

$$P(N_k) = \prod_{j=1}^{r_k} P_{kj}(t) \quad (14)$$

gdzie $P_{kj}(t)$ – prawdopodobieństwo niezdatności j -tego elementu w k -tym przekroju minimalnym, r_k – liczba elementów w k -tym przekroju minimalnym.

Przyjęcie założenia o niezależności uszkodzeń elementów w poszczególnych minimalnych przekrojach jak i założenia o niezależności minimalnych przekrojów pozwala posługiwać się uproszczoną zależnością określającą prawdopodobieństwo zdatności systemu

$$P(FZ = 1) = \prod_{k=1}^r \left\{ 1 - \prod_{l=1}^{r_k} [1 - R_{k,l}(t)] \right\} \quad (15)$$

gdzie $R_{k,l}(t)$ – prawdopodobieństwo zdatności l -tego elementu wchodzącego w skład k -tego minimalnego przekroju, r – liczba minimalnych przekrojów w systemie, r_k – liczba elementów w k -tym przekroju minimalnym.

Ponieważ istnieje pewna adekwatność pojęć minimalnych dróg i minimalnych przekrojów, można aparat matematyczny opisujący zagadnienia minimalnych ścieżek zdatności wykorzystać do opisu minimalnych ścieżek niezdatności zamieniając miejscami ścieżkę na przekrój, a określenie zdatny na niezdatny. Tak więc prawdopodobieństwo niezdatności systemu określone jest przez zależność. Zgodnie z zasadami teorii niezawodności wartość funkcji niezawodności systemu R spełnia zależność:

$$\prod_{i=1}^n R_{pi} \leq R \leq 1 - \prod_{i=1}^m (1 - R_{si}) \quad (16)$$

Często wykorzystuje się analogiczne zależności w odniesieniu do funkcji gotowości i niegotowości systemu oraz jego elementów. Zależności często wykorzystywane są w analizie drzewa niezdatności. Niegotowość cząstkową systemu $Q(t)$ określa się jako prawdopodobieństwo zdarzenia, że dany system jest niezdatny w chwili t , pod warunkiem wystąpienia określonego przekroju minimalnego odpowiadającego tej niegotowości cząstkowej. Przez $Q_k(t)$ oznacza się niegotowość cząstkową systemu ze względu na wystąpienie k -tego przekroju minimalnego. Przy założeniu niezależności elementów składowych systemu, występuje zależność:

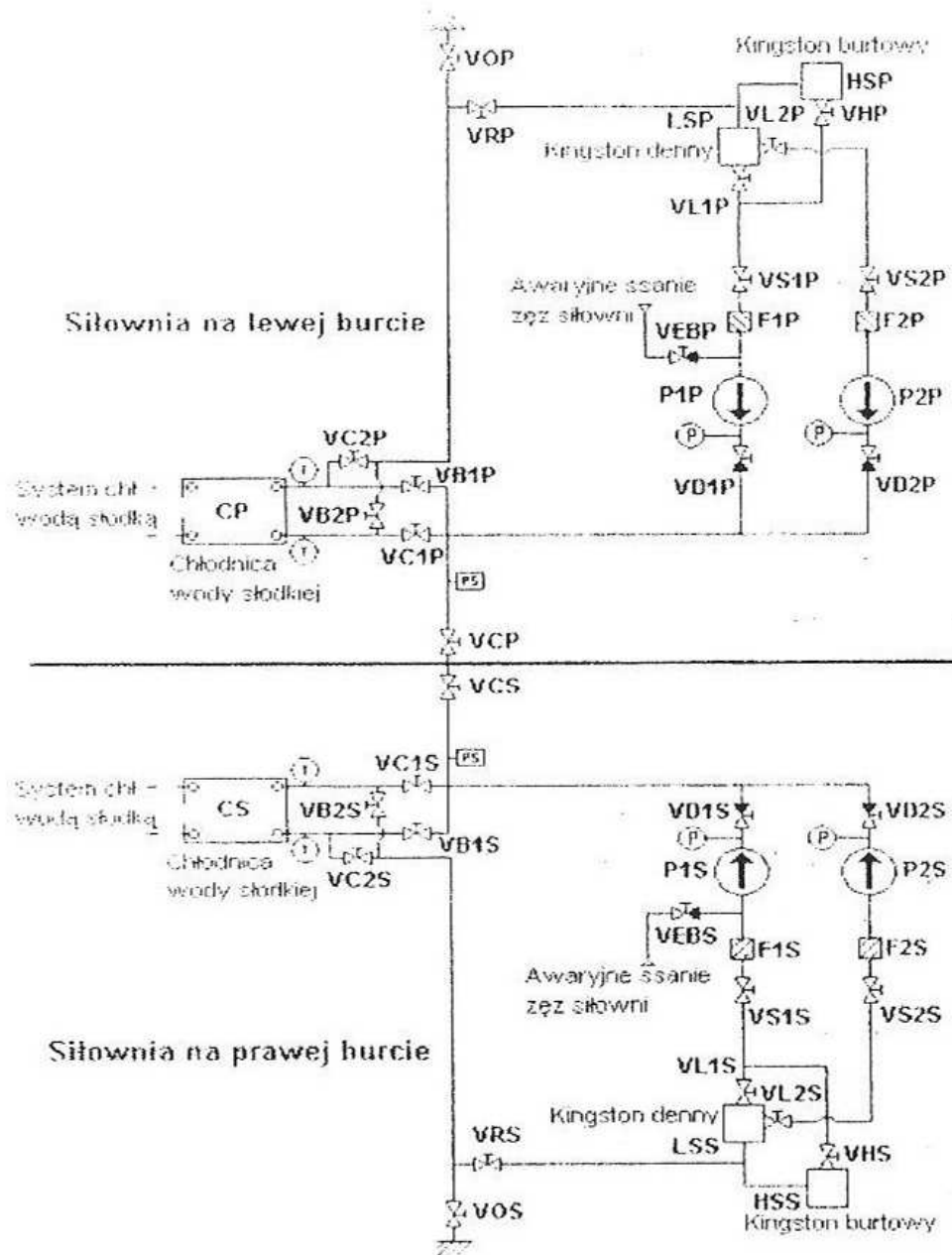
$$Q_k(t) = q_{1,k}(t) \cdot q_{2,k}(t) \cdot \dots \cdot q_{j,k}(t) = \prod_{i=1}^j q_{i,k}(t) \quad (17)$$

gdzie $q_{i,k}(t)$ – niegotowość operacyjna w chwili t , i -tego elementu w j -tym przekroju minimalnym, j – liczba elementów w k -tym przekroju minimalnym.

5. Poszukiwanie przekrojów niezdatności przykładowego systemu siłowni okrętowej

Wykorzystania metody dla instalacji siłowni okrętowej jednostki oceanotechnicznej pokazano na przykładzie instalacji chłodzenia wodą morską siłowni głównych wielozadaniowej jednostki wspierającej eksplorację dna morskiego. Każdy z dziobowych przedziałów maszynowych posiada własny niezależny system chłodzenia wodą morską (rys. 3). W skład każdej z instalacji wchodzi denne (LSP; LSS) oraz burtowe (HSP; HSS) zawory kingstonowe oraz chłodnica centralna (CP; CS) i dwa zespoły pompowe – jeden pracujący (PIP; PIS – $Q = 200 \text{ m}^3/\text{h}$) i jeden rezerwowy (P2P, P2S – $Q = 200 \text{ m}^3/\text{h}$). Pompa pracująca i rezerwowa są wzajemnie zamieniane funkcjami w trzymiesięcznym odstępach czasu, tak więc podział pomp na główną i rezerwową nie jest sztywny, w dalszych rozważaniach pompy PIP oraz PIS będą traktowane jako pracujące, natomiast P2P i P2S jako rezerwowe.

Rurociąg ssawny każdej z pomp wyposażony jest w filtr siatkowy (F1P; F2P; F1S; F2S). Każdy z dziobowych systemów chłodzenia wodą morską oprócz chłodnicy centralnej, zasila podinstalację chłodzenia systemów oleju hydraulicznego dla rufowego steru azymutalnego zlokalizowanego na odpowiedniej (tej samej co określona instalacja wody morskiej) burcie statku. Woda morska przepływa przez odpowiednią chłodnicę oleju sterowania skokiem śruby i oleju sterowania azymutalnym położeniem osi wału pędnika, po czym jest odprowadzana za burtę. Instalacji chłodzenia olejów hydraulicznych nie będzie brana pod uwagę w dalszej analizie jako, że nie stanowi integralnej struktury związanej z chłodzeniem silników elektrowni głównej. Awaria podsystemu chłodzenia olejów hydraulicznych danego steru azymutalnego nie ma natychmiastowego skutku na pracę odpowiedniego pędnika. W przypadku takiej awarii możliwa jest dalsza praca przy zmniejszonym obciążeniu.



Rys. 3. Schemat systemu wody morskiej obsługującego siłownie z głównymi zespołami prądotwórczymi

Systemy w siłowniach dziobowych mogą zostać połączone poprzez otwarcie zaworów rozdzielających (VCP; VCS) zlokalizowanych po obu stronach grodzi rozdzielającej siłownię. Podczas operacji z dynamicznym pozycjonowaniem statku w trzeciej klasie konieczne jest sprawdzenie i potwierdzenie na liście kontrolnej czy zawory rozdzielające są zamknięte (systemy muszą być rozłączone) oraz która pompa jest ustawiona na pracę, a która jest w stanie gotowości w obu siłowniach dziobowych.

Dla przedstawionego systemu zbudowano modele poślednie w postaci drzew niezdatności (nie przedstawione tutaj w związku z ograniczeniem objętości materiału) dla różnych stanów eksploatacyjnych statku m.in. pracy w czasie podróży morskiej i pracy z systemem dynamicznego pozycjonowania. Dla modeli tych wyznaczono przekroje minimalne jedno- do dziewięcioelementowych. Analizę przeprowadzono dla stanu systemu

z otwartymi zaworami rozdzielającymi siłownię. Przyjęto zerowy poziom demodularyzacji.
Poniżej przedstawiono fragment raportu z analizy.

CARA Fault Tree version 4.1 (c) Sydvest Software 1999
Academic version - Not for commercial use!

Note! For evaluation purposes only!

Date: 06-04-20 Time: 19:42:14

File: INSTALACJA WODY MORSKIEJ - ZAWORY
OTWARTE.CFT

New fault tree

Maximum cut size: 9 Mod. level: 0 Top event: Or 1

Cut set(s) with 1 component (None found)

Cut set(s) with 2 components (Total: 10)

{VC1P,VC1S}

{VC1P,VC2S}

{VC1P,CS}

{VC2P,VC1S}

{VC2P,VC2S}

{VC2P,CS}

{CP,VC1S}

{CP,VC2S}

{CP,CS}

{VOS,VOP}

Cut set(s) with 3 components (None found)

Cut set(s) with 4 components (Total: 400)

{VD1P,VD2P,VD1S,VD2S}

{VD1P,VD2P,VD1S,VS2S}

{VD1P,VD2P,VD1S,P2S}

{VD1P,VD2P,VD1S,F2S}

...

{F1P,VL2P,F1S,VS2S}

{F1P,VL2P,F1S,P2S}

{F1P,VL2P,F1S,F2S}

{F1P,VL2P,F1S,VL2S}

Cut set(s) with 5 components (Total: 200)

{VL1P,VHP,VD2P,VD1S,VD2S}

{VL1P,VHP,VD2P,VD1S,VS2S}

{VL1P,VHP,VD2P,VD1S,P2S}

{VL1P,VHP,VD2P,VD1S,F2S}

...

{F1P,F2P,VL1S,VHS,P2S}

{F1P,F2P,VL1S,VHS,F2S}

{F1P,F2P,VL1S,VHS,VL2S}

{F1P,VL2P,VL1S,VHS,VD2S}
 {F1P,VL2P,VL1S,VHS,VS2S}
 {F1P,VL2P,VL1S,VHS,P2S}
 {F1P,VL2P,VL1S,VHS,F2S}
 {F1P,VL2P,VL1S,VHS,VL2S}

Cut set(s) with 6 components (Total: 25)

{VL1P,VHP,VD2P,VL1S,VHS,VD2S}
 {VL1P,VHP,VD2P,VL1S,VHS,VS2S}
 {VL1P,VHP,VD2P,VL1S,VHS,P2S}
 {VL1P,VHP,VD2P,VL1S,VHS,F2S}
 {VL1P,VHP,VD2P,VL1S,VHS,VL2S}
 {VL1P,VHP,VS2P,VL1S,VHS,VD2S}
 {VL1P,VHP,VS2P,VL1S,VHS,VS2S}
 {VL1P,VHP,VS2P,VL1S,VHS,P2S}
 {VL1P,VHP,VS2P,VL1S,VHS,F2S}
 {VL1P,VHP,VS2P,VL1S,VHS,VL2S}
 {VL1P,VHP,P2P,VL1S,VHS,VD2S}
 {VL1P,VHP,P2P,VL1S,VHS,VS2S}
 {VL1P,VHP,P2P,VL1S,VHS,P2S}
 {VL1P,VHP,P2P,VL1S,VHS,F2S}
 {VL1P,VHP,P2P,VL1S,VHS,VL2S}
 {VL1P,VHP,F2P,VL1S,VHS,VD2S}
 {VL1P,VHP,F2P,VL1S,VHS,VS2S}
 {VL1P,VHP,F2P,VL1S,VHS,P2S}
 {VL1P,VHP,F2P,VL1S,VHS,F2S}
 {VL1P,VHP,F2P,VL1S,VHS,VL2S}
 {VL1P,VHP,VL2P,VL1S,VHS,VD2S}
 {VL1P,VHP,VL2P,VL1S,VHS,VS2S}
 {VL1P,VHP,VL2P,VL1S,VHS,P2S}
 {VL1P,VHP,VL2P,VL1S,VHS,F2S}
 {VL1P,VHP,VL2P,VL1S,VHS,VL2S}

Cut set(s) with 7 components (None found)

Cut set(s) with 8 components (None found)

Cut set(s) with 9 components (None found)

Total number of cut sets up to order 9: 635

W związku z dużą ilością przekrojów minimalnych cztero (400 przekrojów) i pięcioelementowych (200 przekrojów) w celu ograniczenia objętości publikacji usunięto z raportu większą część zbiorów o tej liczbie elementów.

6. Uwagi końcowe

Metoda minimalnych ścieżek lub przekrojów pozwala na ocenę niezawodności od minimalnego poziomu niezawodności i może mieć zastosowanie do oceny niezawodności obiektów istniejących oraz na etapie projektowania obiektów przy formułowaniu kryterium niezawodności.

W pewnych sytuacjach może zaistnieć trudność zastosowania metody ścieżek i przekrojów w analizie niezawodności systemów siłowni okrętowych, w związku z faktem, iż struktury funkcjonalne systemów siłowni okrętowych charakteryzują się zmianą w czasie pracy poszczególnych urządzeń ze względu na proces wyłączania lub przełączania się niektórych urządzeń w czasie pracy [2].

Struktury o dużej złożoności jak systemy siłowni statków wspomagających eksplorację dna morskiego są trudne do bezpośredniej tzw. „ręcznej” analizy. Zwłaszcza jeśli poddaje się je zmianie struktury funkcjonalnej oraz niezawodnościowej, co jest wynikiem zmiany stanu eksploatacyjnego statku. W przedstawionym materiale pokazano wybrane wyniki tylko jakościowej analizy systemu, tj. przedstawiono wybrane ze znalezionych 635 minimalnych przekrojów niezdatności. Duża liczba uzyskanych zbiorów wskazuje celowość zastosowania metod komputerowych w procesie poszukiwania przekrojów lub ścieżek minimalnych systemów okrętowych zwłaszcza jednostek wspierających eksplorację dna morskiego.

Literatura

1. *CARA-Fault Tree Academic version 4.1*. Sydvest Software. Trondheim 1999. <http://www.sydvest.com>
2. 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.
3. Fussell J. B., Henry E. B., Marshall N. H., *MOCUS A Computer Program to Obtain Minimal Sets from Fault Trees*. ANCR-1156. Aerojet Nuclear Testing Company, National Reactor Testing Station, U.S. Atomic Energy Commission. August 1974.
4. Fussell, J. B., *Fault Tree Analysis - Concepts and Techniques*. Article in Generic Techniques in System Reliability Assessment, Nordhoff-Leyden, 1976.

Рецензент: доц. Моторный А.В.

APPLICATION OF CUT SETS AND PATH SETS METHODOLOGY FOR OFFSHORE UNITS POWER PLANT SYSTEMS RELIABILITY ESTIMATION

Issues of minimal cut sets and minimal path sets searching, its qualitative analysis and system modular decomposition process have been presented in the paper. Example marine power plant system installed onboard offshore multi support vessel and parts of report from its analysis have been shown. Some remarks for application of minimal unavailability cut sets and minimal availability path sets methodology for seabed exploring support offshore vessels marine installations reliability estimation have been presented.