

Chybowski L., Grzebieniak R., Matuszak Z.
Maritime Academy
Szczecin, Poland

PORÓWNANIE PRZEBIEGÓW WYBRANYCH MIAR NIEZAWODNOŚCIOWYCH NA PRZYKŁADZIE SYSTEMÓW ZASILANIA PALIWEM DWÓCH STATKÓW SERII B-584

Summary

Failures statistics in marine power plant systems onboard two B-584 series vessels from two observation periods for each ship have been shown. Empirical function characteristics of unreliability function and failure intensity function of main engine fuel oil preparation and supply system have been presented. Approximation of obtained characteristics with use of polynomial interpolation has been shown. Some remarks on approximation results in aspects of the possibility of failure information transfer between sisters ships systems have been made. Necessity of the verification of hypothesis on the membership of the time to failure sets to the one general population of time to failure has been pointed out.

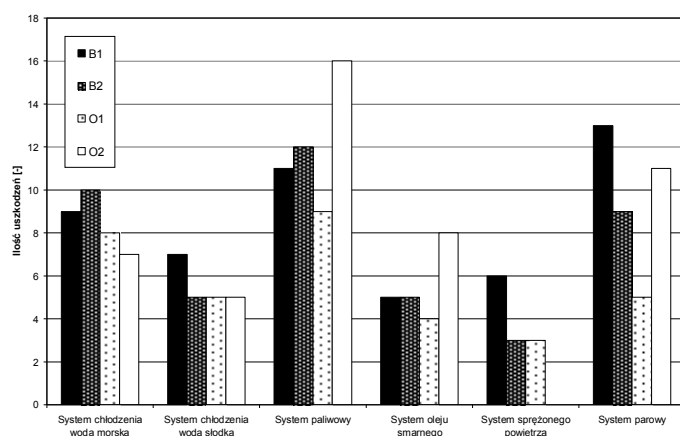
1. Wprowadzenie

Niezawodność systemów siłowni okrętowych oraz ich 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 statystyczna uszkodzeń w systemach technicznych oraz badanie ich przyczyn pozwala na wyodrębnienie najbardziej zawodnych elementów oraz implikuje stosowanie różnego typu metod [1, 2] mających na celu zmniejszenie awaryjności, na etapie projektowania i budowy nowych jednostek pływających oraz zmiany procedur eksploatacyjnych. Możliwość przeniesienia informacji o uszkodzeniach pomiędzy statkami podobnymi (tu: budowanymi w ramach jednej serii) jest bardzo ważna z uwagi na trudność zbierania danych o uszkodzeniach systemów siłowni okrętowych, które charakteryzują się stosunkowo małymi populacjami uszkodzeń i jednocześnie relatywnie długimi czasami do uszkodzenia elementów tych systemów.

2. Obiekt badań

Niniejszy materiał ma za zadanie przedstawić wstępną analizę zawodności systemów paliwowych na dwóch jednostkach podobnych w aspekcie możliwości przeniesienia wyników. Przedział czasu obserwacji uszkodzeń zawiera się dla przedstawionych przypadków w zakresie 130-160 dni. Analizie poddano cztery zbiory danych o chwilach uszkodzeń (statek pierwszy – serie danych *B1* i *B2* z dwóch różnych okresów obserwacji, statek drugi – serie danych *O1* i *O2* z dwóch różnych okresów obserwacji) o uszkodzeniach w systemach paliwowych silników głównych podczas eksploatacji w siłowniach dwóch statków serii *B-584* polskiego armatora (po 2 zestawy danych o uszkodzeniach z każdej z analizowanych jednostek). Analizowane statki to jednostki zbudowane w stoczni w Warnie napędzane wolnoobrotowym silnikiem spalinowym. Porównania przebiegów charakterystyk niezawodnościowych dla celów przyszłej analizy wykorzystano systemy zasilania paliwem silnika głównego. Wybór systemu podyktowany został statystycznie stosunkowo wysoką zawodnością tego systemu w porównaniu do innych systemów siłowni okrętowej [2, 4]. Populacje uszkodzeń w podstawowych systemach siłowni analizowanych statków (w tym w systemach paliwowych) przedstawiono na rys. 1 stosując przedstawione wcześniej oznaczenia próbek danych dotyczących

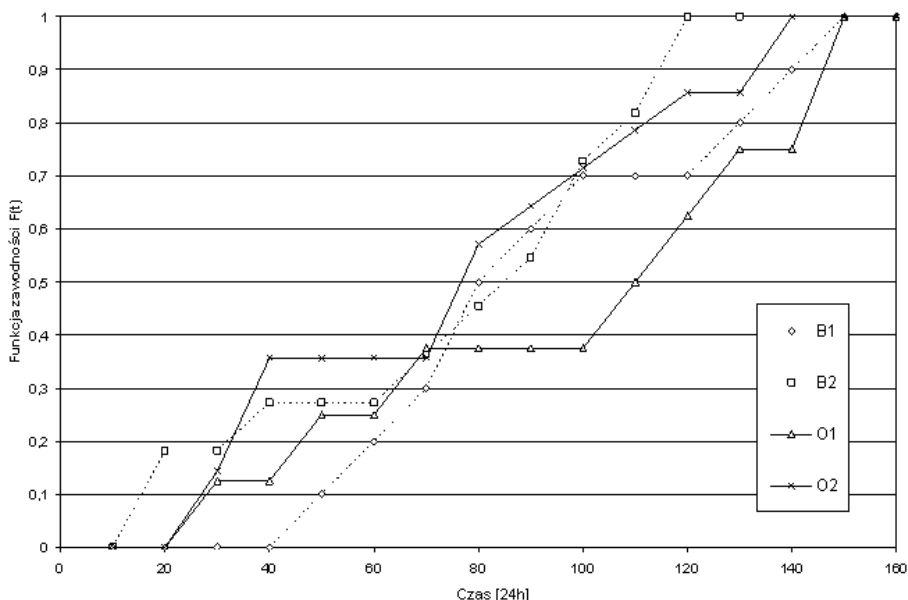


Rys. 1. Porównanie ilości uszkodzeń dla kolejnych zestawów danych w poszczególnych systemach siłowni okrętowej

chwil uszkodzeń. Przyczyną tego, że populacje uszkodzeń w systemie paliwowym były największe należy upatrywać w warunkach pracy elementów tego systemu oraz niekorzystnym oddziaływaniu paliwa na elementy systemu. Główną przyczyną występujących uszkodzeń w systemie paliwowym jest zużycie erozyjne, kawitacyjne, korozyjne, zmęczeniowe i ciepłe.

3. Empiryczne charakterystyki niezawodnościowe analizowanych systemów

W oparciu o zebrane dane o chwilach uszkodzeń [11] i wyznaczonych długościach czasu pomiędzy uszkodzeniami systemów oszacowano podstawowe charakterystyki niezawodnościowe. Analizy przeprowadzono w opracowanych przez autorów arkuszach kalkulacyjnych w środowisku MS Excel. Na rys. 2 przedstawiono przebiegi funkcji zawodności systemu zasilania paliwem silnika głównego dla każdego z czterech zestawów danych o uszkodzeniach.



Rys. 2. Przebiegi empiryczne funkcji zawodności systemów zasilania paliwem

Empiryczne przebiegi funkcji intensywności uszkodzeń systemu zasilania paliwem silnika głównego dla analizowanych zestawów danych o uszkodzeniach przedstawiono na rys. 3.

Przy szacowaniu przedstawionych w materiale miar niezawodnościowych wykorzystano formuły (3.1) dla funkcji zawodności systemu i (3.2) dla funkcji intensywności uszkodzeń (zaprezentowano tylko dwie miary z uwagi na ograniczenia objętości materiału).

$$F^*(t) = \frac{m(t)}{N} \quad (3.1)$$

$$\lambda^*(t) = \frac{n(t) - n(t + \Delta t)}{n(t) \cdot \Delta t} \quad (3.2)$$

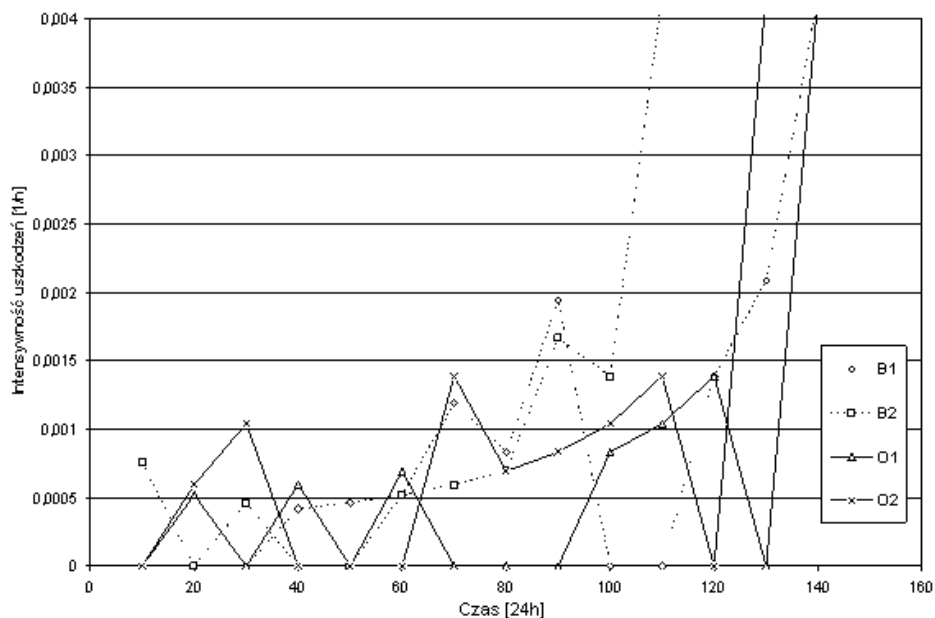
gdzie:

$m(t)$ – liczba elementów uszkodzonych w przedziale $(0, t]$,

$n(t)$ – liczba elementów nieuszkodzonych w przedziale $(0, t]$,

$n(t) - n(t + \Delta t)$ – liczba nieuszkodzonych elementów w $(t, t + \Delta t)$,

$N = m(t) + n(t)$ – licznosc próbki,

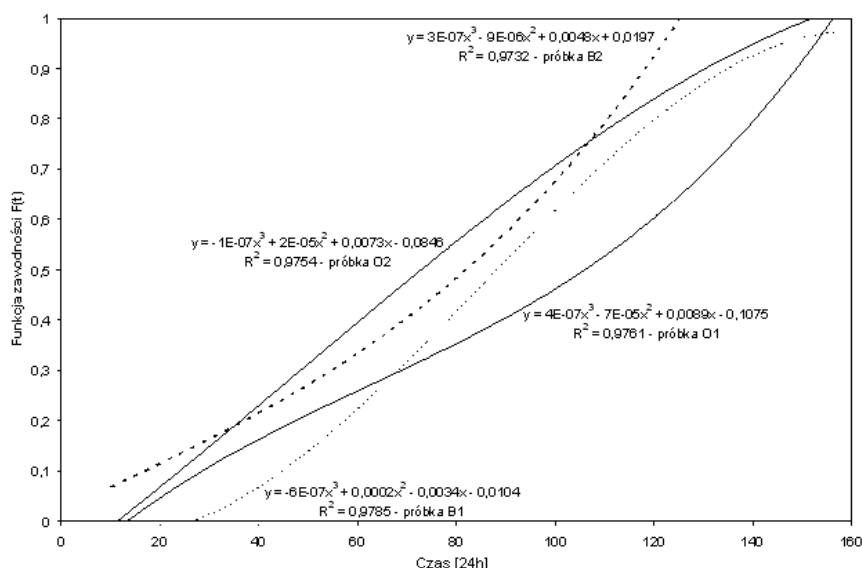


Rys. 3. Przebiegi empiryczne funkcji intensywności uszkodzeń systemów zasilania paliwem silnika głównego

4. Aproksymacja wybranych miar funkcyjnych wielomianami

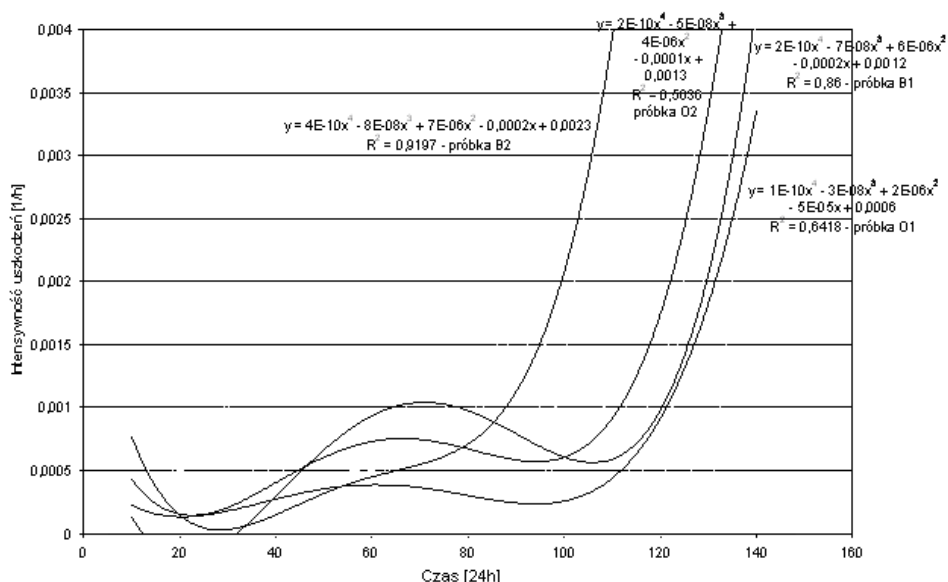
W systemie zasilania paliwem silnika głównego zaobserwowano najwięcej uszkodzeń spośród wszystkich systemów siłowni okrętowej. Uszkodzenia niektórych elementów systemów powtarzały się okresowo, a niektóre nie uległy uszkodzeniu ani razu, co wynika z różnego poziomu oddziaływań destrukcyjnych na różne urządzenia. Z uszkodzeń ważnych dla pracy siłowni w tym systemie należy wyróżnić uszkodzenia pomp wtryskowych oraz wtryskiwaczy silnika głównego.

Po nałożeniu na uzyskane empiryczne przebiegi funkcji zawodności linii interpolującej w postaci krzywej będącej wykresem funkcji wielomianowej trzeciego stopnia można wyciągnąć wnioski, że uzyskane przebiegi mają zbliżony charakter funkcyjny i wartości w odpowiednich punktach czasu eksploatacji. Przebiegi te wraz z opisami funkcyjnymi krzywej oraz wartościami współczynnika determinacji R^2 przedstawiono na rys. 4.



Rys. 4. Wielomiany trzeciego stopnia jako interpolacja przebiegów funkcji zawodności systemów zasilania paliwem

Uzyskane wyniki świadczą o stosunkowo dobrym dopasowaniu przedstawionych krzywych (wielomianów trzeciego stopnia) do empirycznych przebiegów funkcji zawodności (współczynnik determinacji R^2 powyżej wartości 0,9732). Zbliżone przebiegi funkcyjne wobec zbliżonego czasu obserwacji analizowanych systemów dla wszystkich czterech zestawów danych świadczyć może o zbliżonych warunkach pracy analizowanych systemów zasilania paliwem silnika głównego. Również wzajemnie podobny charakter zmian wykazują przebiegi intensywności uszkodzeń wszystkich analizowanych próbek (Rys. 5) zbudowane poprzez aproksymację przebiegów empirycznych wielomianem czwartego stopnia.



Rys. 5. Interpolacja wielomianami przebiegów funkcji intensywności uszkodzeń systemów zasilania paliwem

W tym przypadku jednak współczynnik determinacji jest znacznie niższy, co świadczy o niezbyt dobrym dopasowaniu modelu do przebiegu. Wynika to zdaniem autorów ze zbyt małej liczby próbek i związanej z tym wysokiej czułości przebiegu charakterystyk na wartości najbardziej oddalone od wartości średniej intensywności uszkodzeń. Ponadto modele wielomianowe są wrażliwe na chwilowe zmiany wartości analizowanego wskaźnika. Względnie dobre

dopasowanie do przebiegu prostszych modeli wymaga jednak zwiększenia liczebności próby (wydłużenie czasu obserwacji).

5. Podsumowanie

Małe liczebności próbek i związane z tym niskie wartości współczynnika determinacji wielomianów aproksymujących przebiegi empiryczne funkcji intensywności uszkodzeń systemu paliwowego prezentują trudności powstające w procesie obiektywnej analizy niezawodności siłowni okrętowych przy małej populacji uszkodzeń. Skłania to do podejmowania dalszych badań w tym zakresie, zwłaszcza rejestracji chwil uszkodzeń w czasie eksploatacji nowych jednostek, które to pomimo rosnącej z postępem technologicznym niezawodności maszyn wciąż mogą prowadzić w czasie eksploatacji do poważnych katastrof morskich (poważne konsekwencje potencjalnych awarii maszyn i urządzeń okrętowych).

Dla celów ilościowego przetwarzania danych o uszkodzeniach i przenoszenia ich pomiędzy systemami podobnymi, konieczne jest zbadanie hipotezy statystycznej o przynależności długości czasów między uszkodzeniami w przedstawionych próbkach do jednej populacji generalnej [11]. Badanie takie [5, 6, 8, 9, 10, 11] były wykonane dla dziesięciu statków, których armatorem jest Polska Żegluga Morska w Szczecinie. Charakteryzują się one stosunkowo dużą pracochłonnością, a wnioski są wysuwane na podstawie wartości parametrów statystycznych. Opisana metoda w prezentowanym materiale wydaje się być znacznie prostsza, a w połączeniu z metodami zastosowanymi w [3, 4, 9, 10, 11] stosunkowo wiarygodna.

W oparciu o linie aproksymujące można dokonać porównania i prognozować przebiegi miar niezawodnościowych w systemach podobnych. Należy jednak zawsze wziąć pod uwagę potencjalny wpływ czynników zewnętrznych i wewnętrznych na pracę analizowanych systemów, tu: systemów siłowni okrętowych.

Bibliografia

1. Chybowski L.: Auxiliary Installations' Fault Tree Model For Operation Analysis Of Vessel's Power Plant Unit. Baltiechmasz - 2002, KGTU, Kaliningrad 2002, s. 299-301.
2. Chybowski L.: Matuszak Z.: Estimation Of Unavailability Of Main Power Plants Fuel Supply System Installed Onboard Seabed Exploring Offshore Vessel. Journal of Explo-Diesel & Gas Turbine 05, IV International Scientifically-Technical Conference. Gdańsk 2005, s. 65-71.
3. Chybowski L., Matuszak Z.: Probabilistic Analysis of Marine Binary Technical Systems Represented by Boolean Models. Zeszyty Naukowe nr 10 (82) Akademii Morskiej w Szczecinie, Szczecin 2006, s. 161-172.
4. Czajgucki J. Z.: Niezawodność spalinowych siłowni okrętowych. Wydawnictwo Morskie. Gdańsk 1984.
5. Matuszak Z.: Wybór metody do szacowania niezawodności instalacji siłowni okrętowych. Materiały Konferencji Naukowo-Technicznej EXPLO-SIL'92 "Eksploatacja silników spalinowych o zapłonie samoczynnym" - Gdynia 1992. Część 2, Wyd. Akademii Marynarki Wojennej, Gdynia 1992, s. 27-35.
6. Matuszak Z.: Szacowanie niezawodności instalacji siłowni okrętowej jako systemu odpowiedzialnego za pracę silnika głównego. Materiały Konferencji Naukowo-Technicznej EXPLO-SIL'92 "Eksploatacja silników spalinowych o zapłonie samoczynnym" - Gdynia 1992. Część 2 Wyd. Akademii Marynarki Wojennej, Gdynia 1992, s. 36-44.
7. Matuszak Z., Okopny J.: Niezawodność strukturalna i funkcjonalna instalacji siłowni okrętowych. Materiały XVI Sesji Naukowej Okrętowców - Szczecin - Dziwnówek 1994. Część I, Wyd. Stoczni Szczecińskiej, Szczecin 1994, s. 193-198.

8. Matuszak Z.: System siłowni okrętowej jako złożony system techniczny o zmiennej strukturze funkcjonalnej. Problemy Eksploatacji. Diagnostyka. Niezawodność i Bezpieczeństwo. 4'97(27), s. 511-520.
9. Matuszak Z., Woźniak A.: Rozkłady uszkodzeń systemów siłowni i przynależność ich do populacji generalnej. Materiały Krajowej Konferencji Bezpieczeństwa i Niezawodności, Zakopane-Kościelisko 1999, t. 2, s. 343-350.
10. Matuszak Z.: Ocena przynależności danych o uszkodzeniach systemów siłowni okrętowych do jednej populacji generalnej. Zeszyty Naukowe AGH w Krakowie „Automatyka” tom 5, zeszyt 1/2 2001, Uczelniane Wydawnictwa Naukowo-Dydaktyczne AGH, Kraków 2001, s. 411-420.
11. Matuszak Z.: Modeli otkazow i prinadleżnost danych ob otkazach k generalnoj sowokupnosti na primierie sudowych energetycznych ustanowok. Kaliningradskij gosudarstwennyj techničeskij uniwersytet, Wyd. KGTU, Kaliningrad 2002.

Compare of selected dependability measures plots on the example of marine fuel oil supply systems of two ships B-584 series

Streszczenie

W materiale przedstawiono statystykę uszkodzeń w systemach siłowni okrętowych dwóch statków serii *B-584* z dwóch okresów obserwacji dla każdej z jednostek. Przedstawiono empiryczne funkcje zawodności oraz intensywności uszkodzeń systemu przygotowania i zasilania paliwem silnika głównego. Przeprowadzono aproksymację uzyskanych przebiegów z wykorzystaniem interpolacji wielomianami. Oceniono jakościowo uzyskane przebiegi w aspekcie możliwości przeniesienia wyników pomiędzy systemami statków podobnych. Wskazano na konieczność weryfikacji hipotezy o przynależności okresów między uszkodzeniami do jednej populacji generalnej długości czasów do uszkodzenia.