ISSN 1733-8670

ZESZYTY NAUKOWE NR 10(82)
AKADEMII MORSKIEJ
W SZCZECINIE

IV MIĘDZYNARODOWA KONFERENCJA NAUKOWO-TECHNICZNA
EXPLO-SHIP 2006

Jan Monieta, Patryk Towiański

Badania zdarzeń niepożądanych systemów antropotechnicznych siłowni okrętowych

Słowa kluczowe: statki morskie, siłownie okrętowe, zdarzenia niepożądane

W artykule przedstawiono wyniki badań zdarzeń niepożądanych w siłowniach okrętowych armatorów za okres trzech lat. Podjęto próbę klasyfikacji zdarzeń, poniesionych w związku z nimi strat oraz przyczyn je wywołujących.

Investigations of Undesirable Events of Anthropotechnical Systems of Marine Power Plants

Key words: seagoing vessels, marine power plant, undesirable events

The article introduces the results of investigations of undesirable events of marine power plants of ships belonging to various shipowners covering three years. An attempt is made to classify events, associated material losses and their causes.

Wstęp

Od jakiegoś czasu zaczęto dostrzegać potrzebę rozpatrywania złożonych systemów, jak na przykład siłownie okrętowe, jako systemów antropotechnicznych. Prowadzenie badań niezawodnościowych siłowni, bez uwzględnienia wpływu człowieka oraz otoczenia, nie daje pełnych i wiarygodnych wyników. Człowiek wywiera bardzo duży wpływ na niezawodność całego systemu. Wyniki wielu przeprowadzonych badań wskazują jednoznacznie, że to on jest często odpowiedzialny za zdarzenia niepożądane [4]. Dlatego też, oprócz podnoszenia wymagań kompetencyjnych czy zdrowotnych wobec kandydatów na członków załóg maszynowych, dąży się do opracowania jak najlepszych metod diagnostycznych oraz do zwiększenia automatyzacji urządzeń w siłowni.

Zmniejszenie wpływu człowieka na działanie urządzeń i maszyn w siłowni okrętowej w dużym stopniu zwiększy jej niezawodność. Nie jest to jednak jedyny czynnik obniżający niezawodność systemu antropotechnicznego siłowni okrętowej.

Przeprowadzone w tej pracy badania mają na celu zwiększenie bezpieczeństwa oraz niezawodności siłowni okrętowej. Badaniom poddano zdarzenia niepożądane obiektów technicznych i operatorów. Na podstawie szczegółowych analiz tych zdarzeń można będzie wprowadzić różnego rodzaju środki zapobiegawcze, które w pewnym stopniu uchronią przed ich powstawaniem.

1. Niezawodność systemów antropotechnicznych siłowni okrętowych

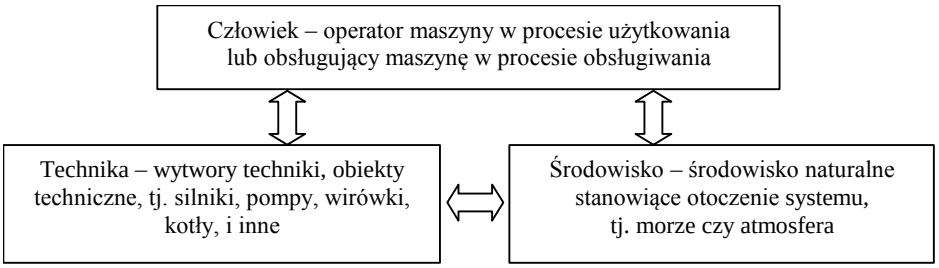
Badania niezawodnościowe tych systemów przeprowadzano na ogół nie uwzględniając wpływu człowieka. Dopiero stosunkowo niedawno uświadomiono sobie, że problemy bezpieczeństwa w różnych obszarach techniki i życia człowieka bardzo często mają ten sam charakter i mogą być opisywane w ten sam sposób [5]. Systemy składają się z elementów technicznych i ludzkich. Ten drugi element jest operatorem wykonującym określoną pracę.

W zależności od charakteru relacji pomiędzy ludźmi, pełniącymi te obowiązki, system jest traktowany jako antropotechniczny lub socjotechniczny [3]. Teoria niezawodności umożliwia charakterystykę oraz ilościową ocenę przyczyn występowania sytuacji awaryjnych uwarunkowanych niezdatnościami, a także opracowanie zaleceń mających na celu zwiększenie bezpieczeństwa na podstawie gwarancji niezawodności różnych podzespołów systemów w procesie ich projektowania, wytwarzania i eksploatacji [2].

Człowiek pracujący w siłowni okrętowej zajmuje się bieżącą obsługą urządzeń technicznych, ich nadzorem i konserwacją. Ma on zatem duży wpływ na funkcjonowanie całej siłowni. Dlatego też współczesne systemy techniczne,

takie jak siłownie okrętowe, rozpatrywane są jako złożone systemy typu człowiek – technika – środowisko, nazywane systemami antropotechnicznymi.

Te trzy elementy systemu są ze sobą silnie powiązane, a ich stan zależy w dużym stopniu od rodzaju i intensywności oddziaływań między nimi [4]. Na schemacie (rys. 1) przedstawiono elementy systemu antropotechnicznego oraz ich wzajemne powiązania.



Rys. 1. Graficzne przedstawienie systemu antropotechnicznego siłowni okrętowej
Fig. 1. Graphic illustration of the human-machine system of the marine power plant

Na stan niezawodnościowy systemu antropotechnicznego mają wpływ:

- trwałość i niezawodność obiektu technicznego,
- niezawodność pracy operatora,
- wpływ otoczenia.

Za sprawą wzajemnych oddziaływań lub pod wpływem złożonych zjawisk wewnętrznych, zachodzących wewnątrz systemu, dochodzi do zdarzeń niepożądanych, które mogą spowodować straty ekonomiczne, ekologiczne, zdrowotne i inne.

Niezdatności i uszkodzenia będą zdarzeniami niepożądanymi dla obiektów technicznych. W przypadku środowiska są to sztormy, zanieczyszczenia wód itp. [4]. Natomiast dla człowieka zdarzeniem niepożądanym będzie utrata wydolności psycho-fizycznej, wypadek lub popełniony przez niego błąd.

W celu zbadania niezawodności całego systemu antropotechnicznego konieczne jest przeprowadzenie badań niezawodności poszczególnych jego elementów, tzn. niezawodności człowieka i niezawodności siłowni okrętowej.

2. Program badań

Celem badań było dokonanie analizy zdarzeń niepożądanych maszynowych na statkach wybranego armatora. Zgromadzono informacje takie, jak rodzaj uszkodzenia, data tego zdarzenia i koszt naprawy. Ważne jest, że uwzględnione zostały tylko te zdarzenia, których koszt naprawy przekraczał wartość ustaloną

przez ubezpieczyciela. Koszt naprawy może również obejmować np. odszkodowanie za uszkodzenie nabrzeża przez statek.

Każde z tych zdarzeń było badane przez inspektora technicznego. Na podstawie jego oceny oraz raportu mechanika, komisja poawaryjna stwierdzała najbardziej prawdopodobną przyczynę. W przypadku, gdy orzekła, że któryś z członków załogi przyczynił się do powstania niepożądanego zdarzenia, zgłaszała do komisji dyscyplinarnej wniosek o jego ukaranie.

Na podstawie zebranych danych możliwe było przeprowadzenie analizy oraz wykonanie zestawień. Dla celów porównawczych w zestawieniach uwzględniono zdarzenia niepożądane powstałe w siłowni i poza nią.

W szczegółowych opisach zdarzeń zajęto się już tylko zdarzeniami niepożądanymi, do których doszło w siłowni okrętowej. Dane obejmują okres 3 lat i zawierają:

- datę zdarzenia,
- typ i rok budowy statku,
- nośność statku,
- krótki opis zdarzenia,
- koszt naprawy.

Obiekty statkowe są przydzielone do użytkowania i obsługiwania członkom załóg maszynowych i pokładowych, z przyporządkowaniem do poszczególnych stanowisk. O tym decydował system zarządzania bezpieczeństwem armatora.

3. Analiza uzyskanych wyników

3.1. Stosowane miary

Analiza uzyskanych wyników badań została sporządzona z użyciem programów komputerowych oraz przy pomocy rachunku prawdopodobieństwa i statystyki matematycznej. Badane elementy mają różne właściwości, które podlegają badaniu statystycznemu i nazywa się je cechami statystycznymi. Wartości cech, określone w czasie badania, nazywa się obserwacjami statystycznymi [2]. Uzyskane obserwacje statystyczne zostały uszeregowane w zakresie od minimalnej do maksymalnej i podzielone na przedziały klasowe. Przedziały te są zamknięte z lewej strony i otwarte z prawej.

Funkcja gęstości prawdopodobieństwa odpowiada funkcji częstości w statystyce matematycznej. Częstością przedziału nazywa się liczebność danego przedziału, podzieloną przez sumę liczebności wszystkich przedziałów i oznacza symbolem n_j [2]. Funkcją częstości (rozkładem empirycznym) nazywa się zależność częstości przedziału od współrzędnej środka danego przedziału [2].

Oprócz częstości użyte zostały również elementy rachunku prawdopodobieństwa. Na początku utworzono przedziały, których liczebność była większa niż pięć. Korzystając z wzoru [5]:

$$P = \frac{m_{jt}}{m} \tag{1}$$

gdzie:

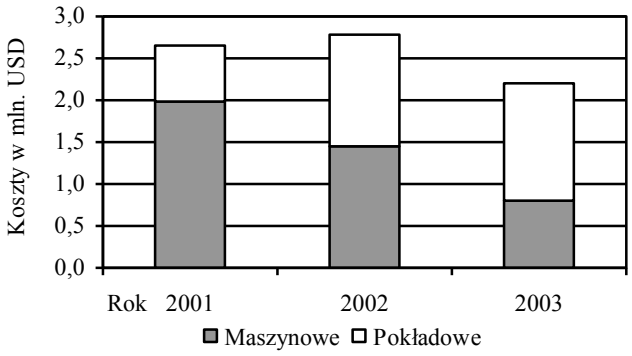
m_{jt} – liczebność j-tego przedziału,

m – suma liczebności wszystkich przedziałów,

można obliczyć prawdopodobieństwo, że zmienna losowa T przyjmie wartość należącą do danego przedziału.

3.2. Wyniki oceny zdarzeń niepożądanych

Na rysunku 2 przedstawiono koszty tych zdarzeń w poszczególnych badanych latach. Można zauważyć znaczny spadek kosztów dotyczących zdarzeń maszynowych i wzrost w przypadku zdarzeń pokładowych. Koszty zdarzeń maszynowych w latach 2001-2002 są wyższe niż pokładowych. Związane jest to z dużą ilością drogich w naprawie urządzeń znajdujących się w siłowni. Ponadto w 2001 roku miał miejsce pożar w siłowni statku i stąd różnica między zdarzeniami pokładowymi i maszynowymi jest tak wysoka. Koszty związane z usunięciem skutków tego zdarzenia wyniosły 75% wszystkich kosztów zdarzeń niepożądanych w dziale maszynowym w tamtym roku.

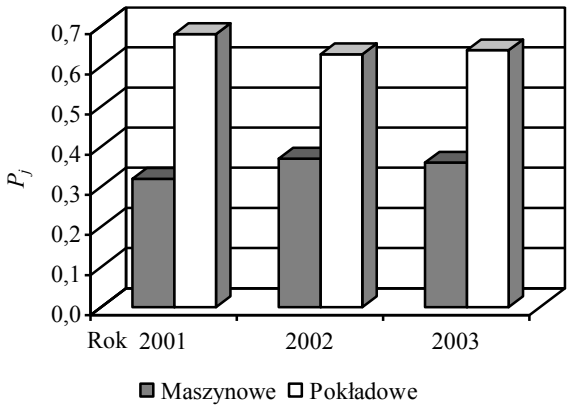


Rys. 2. Koszty zdarzeń niepożądanych
Fig. 2. The costs of undesirable events

Większość niepożądanych zdarzeń pokładowych to uszkodzenia sztormowe. Koszty usunięcia szkód obiektów pokładowych, spowodowanych przez

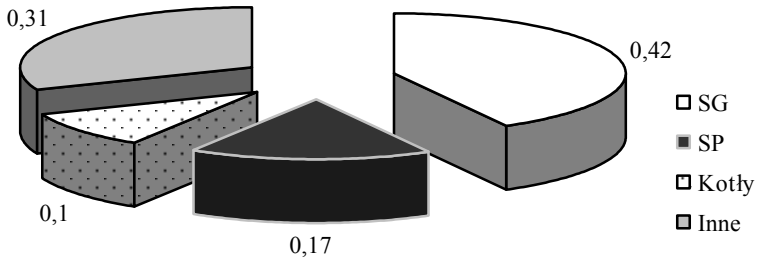
sztorm, są zdecydowanie niższe niż koszty usunięcia uszkodzenia katastroficznego silnika głównego.

Na rysunku 3 przedstawiono ilościowo prawdopodobieństwo udziału zdarzeń niepożądanych pokładowych oraz maszynowych. Wyraźnie widać, że na przestrzeni trzech lat udział zdarzeń niepożądanych zarówno maszynowych, jak i pokładowych utrzymuje się prawie na stałym poziomie. Widoczna jest również zdecydowana przewaga w udziale zdarzeń pokładowych w stosunku do maszynowych.



Rys. 3. Udział zdarzeń niepożądanych maszynowych i pokładowych
Fig. 3. Share of undesirable engine and deck events

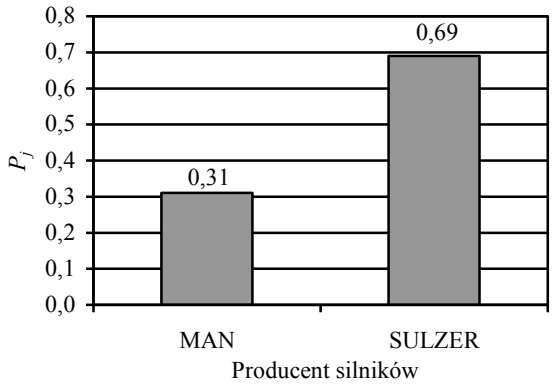
Następna analiza dotyczy obliczeń prawdopodobieństwa wystąpienia danego zdarzenia niepożądanego w siłowni okrętowej. Zdarzenia niepożądane podzielono na następujące przedziały: silnik główny, silnik pomocniczy, kotły i inne. Do innych zdarzeń zaliczono pożary, uszkodzenia wałów, maszyn sterowych itp. Znając liczebność każdego z tych przedziałów można obliczyć prawdopodobieństwo wystąpienia zdarzenia niepożądanego (rys. 4).



Rys. 4. Prawdopodobieństwo wystąpienia zdarzenia niepożądanego obiektów siłowni okrętowych
Fig. 4. The probability of an undesirable event involving objects of marine power plants

Prawie 30% wszystkich strat finansowych, spowodowane było przez zdarzenia niepożądane dotyczące silników głównych. Jak widać na rysunku 4 prawdopodobieństwo, że w przypadku wystąpienia zdarzenia niepożądanego w siłowni, będzie ono dotyczyło silnika głównego wynosi 0,42. Na podstawie tego wykresu można również stwierdzić, że najczęściej uszkodzeniom ulegają silniki główne i pomocnicze (prawie połowa wszystkich zdarzeń niepożądanych w siłowni). W związku z tym przeprowadzono porównanie niezawodności silników głównych i pomocniczych różnych producentów.

Na rysunku 5 przedstawione zostało prawdopodobieństwo uszkodzeń silników dwóch głównych producentów.



Rys. 5. Prawdopodobieństwo powstania zdarzenia niepożądanego w zależności od producenta silnika głównego

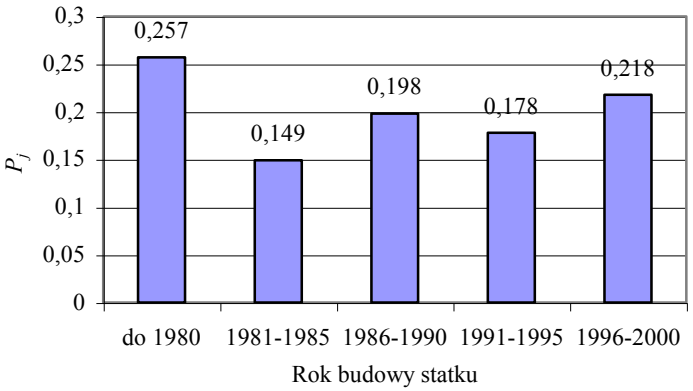
Fig. 5. The probability of undesirable event relative to the ME maker

Silniki produkowane przez firmę Sulzer są, jak widać na rysunku 5, bardziej zawodne i stanowią zdecydowaną większość wśród uszkodzonych silników. Podobne wyniki otrzymano dla silników pomocniczych.

Jednym z kryteriów analizy jest również wiek statku, na którym dochodzi do wystąpienia zdarzeń niepożądanych. Na rysunku 6 przedstawiono prawdopodobieństwo wystąpienia zdarzenia niepożądanego w siłowni w zależności od roku budowy statku. Lata ukończenia budowy podzielono na pięcioletnie okresy.

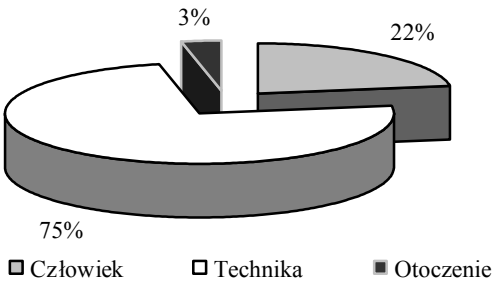
Jak łatwo zauważyć, do zdarzeń niepożądanych najczęściej dochodzi na statkach najstarszych, czyli zbudowanych przed rokiem 1980. Jest to zupełnie naturalne, ponieważ większość uszkodzeń wynika ze zużycia urządzeń lub ich elementów. Z drugiej strony, do niewielu mniej zdarzeń niepożądanych dochodzi na statkach najnowszych w tym zestawieniu, czyli zbudowanych w latach

1996-2000. Najrzadziej ulegającymi uszkodzeniom były statki zbudowane między rokiem 1981 a 1985.



Rys. 6. Prawdopodobieństwo wystąpienia zdarzenia niepożądanego w zależności od roku budowy statku
Fig. 6. The probability of undesirable events according to the year of build of ships

Ostatnim do zanalizowania problemem pozostało określenie, co jest najczęstszą przyczyną powstawania zdarzeń niepożądanych w siłowni okrętowej. Na rysunku 7 przedstawiono wpływ człowieka, techniki i otoczenia na powstanie analizowanych tu zdarzeń niepożądanych.



Rys. 7. Wpływ poszczególnych elementów systemu antropotechnicznego na powstanie zdarzeń niepożądanych w siłowni
Fig. 7. Influence of particular elements of human-machine systems on the occurrence of undesirable events in marine power plants

Z rysunku 7 wynika, że główną przyczyną powstawania zdarzeń niepożądanych w siłowni są czynniki techniczne. Mało wiarygodny wydaje się niewielki wpływ człowieka na powstanie tych zdarzeń. Z drugiej strony ponad połowa uszkodzeń dotyczyła silników głównych i pomocniczych, a tylko w kilku przypadkach obarczono członków załogi winą za ich uszkodzenie. Oceny tej dokonano na podstawie orzeczeń komisji poawaryjnych oraz przedstawicieli armatora, które nie zawsze były obiektywne.

Wnioski

Analizując zdarzenia niepożądane, można zauważyć daleko idącą ostrożność przy przypisywaniu winy członkom załogi. Prowadzić to może do niewiarygodnych w pewnym stopniu orzeczeń, m.in. takich, jakie zostały przeprowadzone przez komisje poawaryjne. Z rysunku 7 wynika, że przyczynami zdarzeń w zaledwie 22% są błędy człowieka. Wyniki te różnią się od przewidywanych i opisanych w literaturze i wymagają ponownego zbadania genezy zdarzeń.

Większą część, bo około 59% zdarzeń niepożądanych w siłowni, stanowią uszkodzenia silników głównych i pomocniczych, a koszty usunięcia ich skutków to 34% wszystkich kosztów poniesionych w badanym okresie. Najczęściej uszkodzeniom ulegają silniki firmy Sulzer, i to w przypadku zarówno silników głównych, jak i pomocniczych. W opiniach komisji poawaryjnych dotyczących uszkodzeń silnika głównego firmy Sulzer pojawiały się często wnioski, że doszło do nich ze względu na błędy konstrukcyjne lub niską jakość użytych materiałów. Powinno to skłaniać armatorów do zastanowienia się nad zastosowaniem na statkach silników innego producenta, co pozwoliłoby zmniejszyć koszty związane z ich obsługą.

Przy analizie zależności ilości uszkodzeń od wieku statku można było dojść do oczywistych wniosków, że najczęściej do zdarzeń niepożądanych dochodzi na statkach najstarszych, czyli powyżej dwudziestopięcioletnich. Korzystne, ze względów finansowych, byłoby więc stopniowe odnawianie floty. Przedstawione w analizach koszty nie zawierają bowiem ogromnych strat spowodowanych przymusowymi postojami statków celem usunięcia powstałych uszkodzeń.

Ogromne rezerwy w ograniczeniu liczby i kosztów zdarzeń niepożądanych można zauważyć w przypadku szkolenia i nadzoru nad członkami załogi maszynowej. Częstsze kontrole oraz, w uzasadnionych przypadkach, surowsze sankcje wobec sprawcy powstania uszkodzenia powinny pozwolić w jeszcze większym stopniu zmniejszyć ryzyko ich wystąpienia.

Przedstawione w pracy zestawienia, analizy oraz wyciągnięte wnioski mogą być przydatne przy próbach ograniczenia ilości oraz kosztów zdarzeń niepożądanych w systemach antropotechnicznych, jakimi są siłownie okrętowe.

Literatura

1. Brandowski A., *Problems of ship system design for safety*, Explo-Diesel & Gas Turbine '03 Gdańsk University of Technology, Faculty of Ocean Engineering and Ship Technology, Gdańsk – Międzyzdroje – Lund, 2003, s. 123 – 132.
2. Matuszak Z., *Wybrane zagadnienia bezpieczeństwa siłowni okrętowej*, Wyd. Wyższej Szkoły Morskiej w Szczecinie, Szczecin 1996.
3. Migdalski J., *Inżynieria niezawodności*, Poradnik, Wyd. ATR Bydgoszcz, Bydgoszcz 1992.
4. Monieta J., *Ocena zdarzeń niepożądanych w eksploatacji statków morskich*, XXIII Sympozjum Siłowni Okrętowych, Akademia Morska w Gdyni, Gdynia 2002, s. 171 – 176.
5. Szopa T., *Podstawowe pojęcia i miary bezpieczeństwa*, Zagadnienia Eksploatacji Maszyn 1994, s. 227 – 237.

Wpłynęło do redakcji w lutym 2006 r.

Recenzent

prof. dr hab. inż. Mieczysław Hann

Adresy Autorów

dr inż. Jan Monieta
Akademia Morska w Szczecinie
Instytut Technicznej Eksploatacji Siłowni Okrętowych
70-500 Szczecin, ul. Wały Chrobrego 1-2

mgr inż. Patryk Towiański