

**EVALUATION OF FAILURE PROBABILITY OF SHIPS
ON THE BALTIC SEA BY MEANS OF SIMULATION
MODEL AND STATISTICAL DATA**

**SZACOWANIE PRAWDOPODOBIENSTWA AWARII
STATKÓW NA POŁUDNIOWYM BAŁTYKU Z
WYKORZYSTANIEM MODELU SYMULACYJNEGO
I DANYCH STATYSTYCZNYCH**

Lucjan Guma, Marcin Przywarty, Rafał Gralak

**Maritime University of Szczecin
Akademia Morska w Szczecinie
70-500 Szczecin Waly Chrobrego 1-2**

e-mails: lucek@am.szczecin.pl, mprzywarty@am.szczecin.pl, rgralak@am.szczecin.pl

Abstract. The ship technical failures contribution in overall number of navigational accidents are significantly smaller than those caused by human factor but in safety analysis they cannot be neglected. The paper presents stochastic modeling the technical failures of ships with respect of most important ship systems such as main engine, power generators and steering gear. The data for simulation was obtained from analysis of ships statistical data of polish owners. Obtained results could be useful for estimation of transport loses or potential environmental threats and planning the response action against them.

Keywords: ships failure probability, simulation model, stochastic model

Streszczenie: Techniczne awarie statków są przyczyną znacznie mniej wypadków niż błąd ludzki, lecz w poważnych analizach nie mogą być pomijane. Referat przedstawia modelowanie stochastyczne awarii technicznych statków z uwzględnieniem uszkodzeń silnika głównego, agregatów oraz urządzeń sterowych. Dane, o które opiera się model, uzyskano z analizy próbek statystycznych uzyskanych od polskich armatorów morskich. Otrzymane wyniki mogą być wykorzystane do estymowania strat w transporcie morskim lub zdarzeń mających wpływ na środowisko naturalne oraz skutecznie im przeciwdziałać.

Słowa kluczowe: prawdopodobieństwo awarii statku, model symulacyjny, model stochastyczny

EVALUATION OF FAILURE PROBABILITY OF SHIPS ON THE BALTIC SEA BY MEANS OF SIMULATION MODEL AND STATISTICAL DATA

1. Introduction

Construction of ships can be designed using the probabilistic methods of reliability analysis. In virtue of its complicate level the ship technical appliances such as engines, auxiliaries, steering or propeller are sensitive to environmental and human factor influence. The interrelation between events causing failures can be examined by application of computer simulation method and reliability analysis.

Assuming the definition of reliability as feature of device which allows of functioning without failure in specific conditions and given time, we determine its numerical and functional measures, which usually are:

- expected value of working time until failure \bar{T}_u ,
- reliability function $R(t)$
- failures intensity function $\lambda(t)$.

These are measures of probabilistic nature, because based on the assessment of probability for occurrence of an event of failure preventing from functioning, what is meant by providing function intended for the technical device [2].

2. Simulation model of damages and ship failures utilizing the stochastic method and statistical data

Simulation model of ship failures to assess its safety is an mathematical algorithm estimating, what is the probability of damage occurrence or ship failure, having the influence navigational safety. The calculations are based on statistical distributions properties, which reflect (on the level of suitable confidence degree) the course of ships' elements damages in reality.

Intensity of ship damages depends on many factors, among others:

- the age of the unit
- the type of the ship
- tonnage

- type of navigation
- navigation basin
- others

Obtaining such detailed data to compile a numerous and reliable research population is very problematic, or even unavailable. Population on which the model is based, is Polska Żegluga Morska fleet and data from annual reports from ship repair yards and producers of engineering ship devices. Statistical data (table 2) on ship damages cover the 6 year-time period (1999-2005) and concern all the company's ships. Currently PŻM owns in total 77 ships, with total deadweight 2,1 mln dwt. These are bulk carriers in groups: coaster (4 400 dwt), numerous group of handy-size and panamax (73 500 dwt). Exept bulk carriers PŻM owns 4 sulfur carriers and ferries m/f Polonia and m/f Gryf managed by Unity Line Szczecin.

Process of given system damage probability estimation, finds its reflection in properties of exponential distribution.

3. Model's input data

Input data and random variable of the damage and ship's failure model, have been prepared basing on the statistical samples of PŻM fleet, Ship Repair Yard and publications connected with the life-span and use of ships' systems.

Table 1. Annual average utilization time of ship [2]

DWT	Engine working time	Annual exploitation time of the ship	Number of calls to port	Number of days in the port	Engine working time	Engine non working time (in port)	Number of days at sea	Time of demurrage	Max days at sea (~5 days of demurrage)
[tons]	[h]	[day]	-	[day]	[day]	[day]	[day]	[day]	[day]
	A	B	C	$D=C \times 1,5$	$E=A/24$	$F=B - (A/24)$	$G=B - D$	$H=360 - B$	$I=360 - D$
< 5,000	4000	240	100	150	167	73	90	120	210
5,000 – 100,000	5000	270	60	90	208	62	180	90	270
> 100,000	6000	300	35	53	250	50	247	60	307
Average of world fleet	5840	300	70	105	243	57	210	60	255

Input variable is the amount of annual utilization periods of the ship. By annual utilization period we understand an average number of running days of the ship's systems per year (tab.1). It fluctuates around 208 for ships with deadweight 1000-100000 DWT (90% of PŻM fleet, being the research population). Research population is the data with average number of damages and failure of ships, during the utilization period and average or limited repair times (tab.2).

By damage we understand the faultiness state of the system, which is eliminated just and only by the ship crew. By the failure of the ship, we mean the faultiness state which occur during the utilization of the ship,

Table 2. Number of PŻM fleet damages/failures. Based on PŻM data

Damage/failure	Annual number of damages/failures						
	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
Damage of machinery appliances :	[%] of overall PŻM ships						
- main engine	10.1	2.2	18.5	23.0	17.1	21.3	5.3
- auxiliaries	7.9	6.6	7.4	10.8	9.2	8.0	6.7
Damage of steering:	[%] of overall PŻM ships						
- rudder	2.2	2.2	1.2	4.1	1.3	1.3	4.0
- installation of main shaft and propeller	6.7	5.5	7.4	5.4	3.9	5.3	2.7

Table 3. Number of events on one unit in the 1-year-period of utilization time and approximated times of repair. Based on PŻM and "Gryfia" Repair Yard data.

Damage/failure	Average number of failures	Time of repair		Average number of damages	Time of repair	
	[failures/per utiliz. period]	min [h]	max [h]	[damages/ per utiliz. period]	min [h]	max [h]
Damage of machinery appliances :						
- main engine	0.139	168	2160	12.83	0.5	72
- auxiliaries	0.081	60	336	5.3		84
Damage of steering:						
- ruder or steering instalation	0.023	264	496	1.1	0.5	69
- installation of main shaft and propeller	0.053	24	1465	-	-	-

which cannot be eliminated by the means of ship's crew, what results in necessity of repair in shipyard or by service (tab.3).

It has been accepted that every failure is preceded by the inspection (minimum 30 minutes) of unsuccessful trial to repair the damage. Model does not take into consideration ageing processes and renewal of particular systems' elements, due to the lack of access to this type of data.

4. Stochastic model of ships accidents

One of the most appropriate approaches to assess the safety of complex marine traffic engineering systems is use of stochastic simulation models [Gucma 2005, Gucma 2003]. The model presented in Figure 1 could be used for almost all navigational accidents assessment like collisions, groundings, collision with fixed object [Gucma 2003], indirect accidents such as anchor accidents or accidents caused by ship generated waves [Gucma & Zalewski 2003] and technical failures. The model could comprise several modules responsible for different navigational accidents.

This methodology was used already by several authors before with different effect [Friis-Hansen & Simonsen 2000, Merrick et al. 2001, Otay & Tan 1998]. In presented studies the model was used to assess the probability of oil spills in the Southern Baltic Sea area.

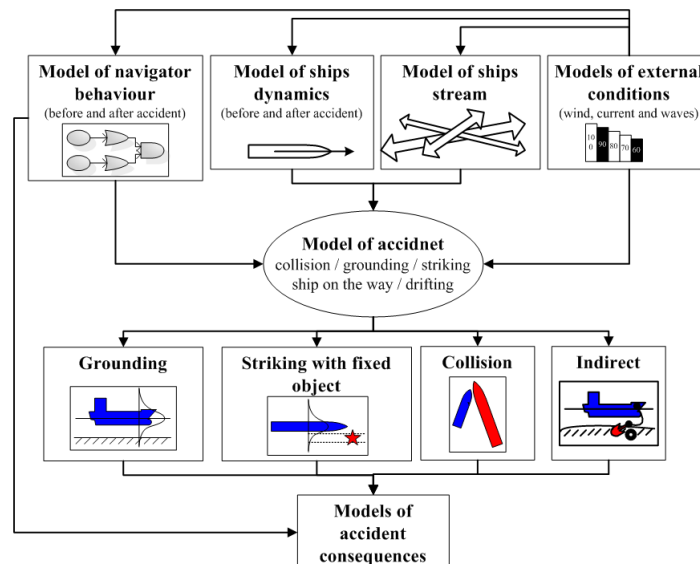


Figure 1. Diagram of fully developed stochastic model of navigation safety assessment

There are several sources of data necessary for the running of simulation model. The data of traffic was obtained by analysis of AIS records [Assessment 2005] Polish national AIS network studies, and statistics of ships calls to given ports. The weather data was obtained from Polish meteorological stations and extrapolated in order achieves open sea conditions [Risk 2002]. The navigation data was obtained from navigational charts, guides and own seamanship experience. The simulated ships routes are presented in Figure 3.

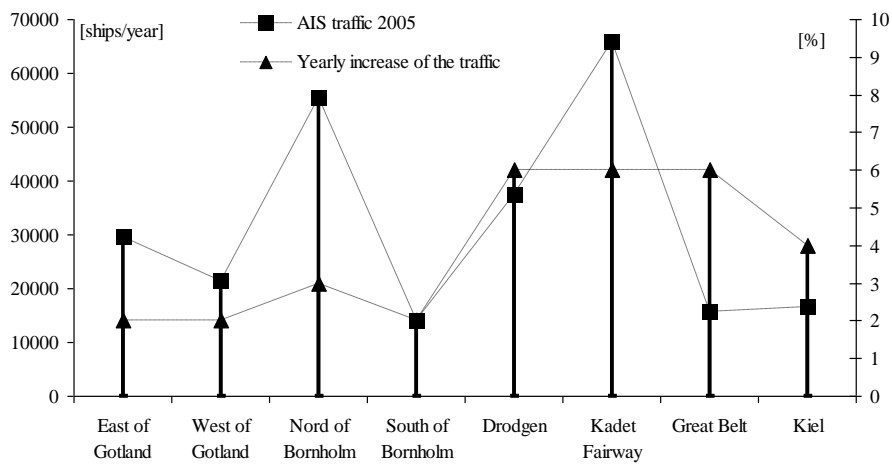


Fig. 2. Traffic of ships and its increase on analyzed part of the Baltic Sea

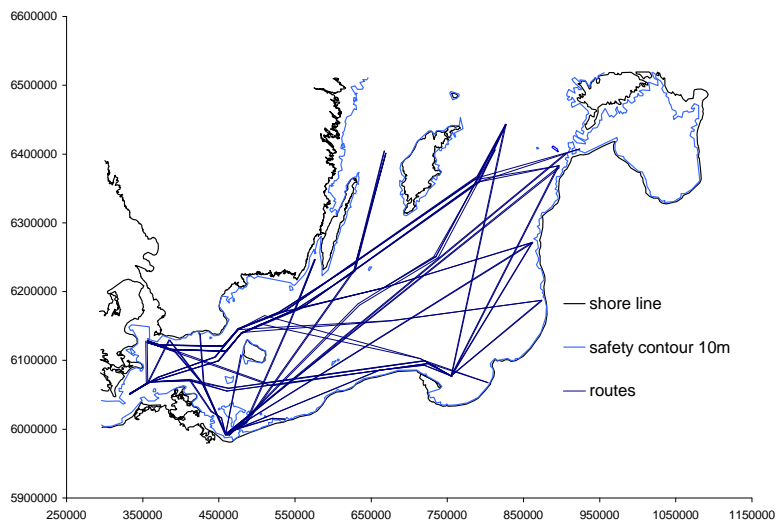


Figure 3. Simulated ships routes in examined area

The traffic of ships is modelled by nonhomogenous Poisson process where actual intensity of traffic is evaluated on the basis of real AIS (Automatic Identification System) data from the Helcom network which is operated since mid 2005. The collected AIS data is used also for determination of ships routes, types, length and draught distribution. The variability of mean ships routes is modelled by two-dimensional normal distribution which parameters were estimated by AIS data and expert-navigators opinion (Fig. 4).

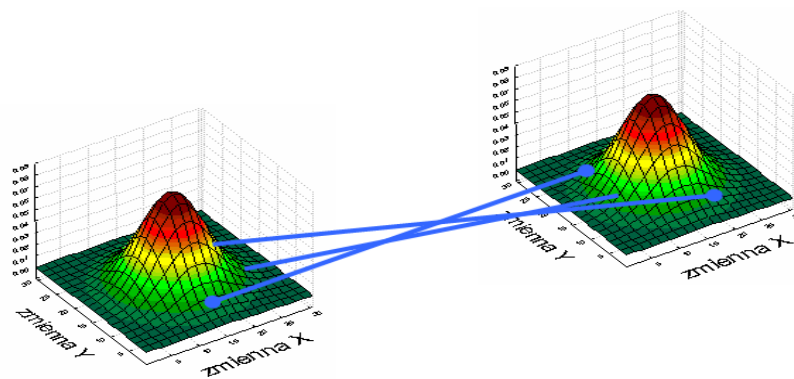


Figure 4. Two-dimensional normal distributions

5. Results

From the results of simulation and from the analysis of gathered data it comes out, that together with the increase in number of ship utilization periods, susceptibility for given system failure increases as well (tab. 4). It is due to the fact, that every ship device is subjected to the process of wearing out, intensity of which depends on utilization factors like, among others, the professionalism of the crew, accuracy of design and workmanship, the environmental conditions in which it works.

From the performed simulations, basing on the experts' knowledge and the research materials, it results that the process of ships systems damages in its great measure has the random character. It is impossible to explicitly state and translate into tabular manner, the ratio of number of specific types of damages occurrence to the beforehand assumed age of the unit. It happens that the relatively new ships suffer from damages, which have never occurred in old and utilized units.

Similar distribution has the characteristic of location density for damage occurrence (Fig. 5) in relation to characteristic of failure occurrence (Fig. 6). Intensity of both events is a random process and depends on numerous factors (quality of service, physical and chemical phenomena), which one cannot, in any way, consider in this type of model.

Table 4. Number of failures and damages obtained from stochastic model on the turn of 37 utilization periods.

Failure/Damage	Simulation time [No. of utilization periods]	Failures		Damages	
		No.	No./util. period	No.	No./util. period
auxiliaries	37	484	13,08	31093	840,35
main engine	37	834	22,54	75264	2034,16
ruder or steering instalation	37	133	3,59	6373	172,24
installation of main shaft and propeller	37	316	8,54	-	-

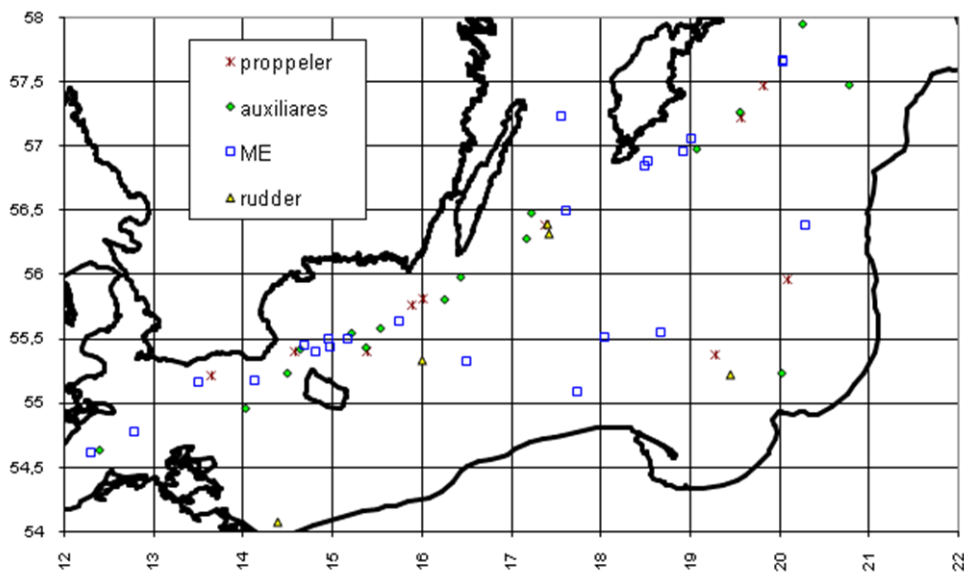


Figure 5. Location of 1-utilization period failures on The Southern Baltic Sea

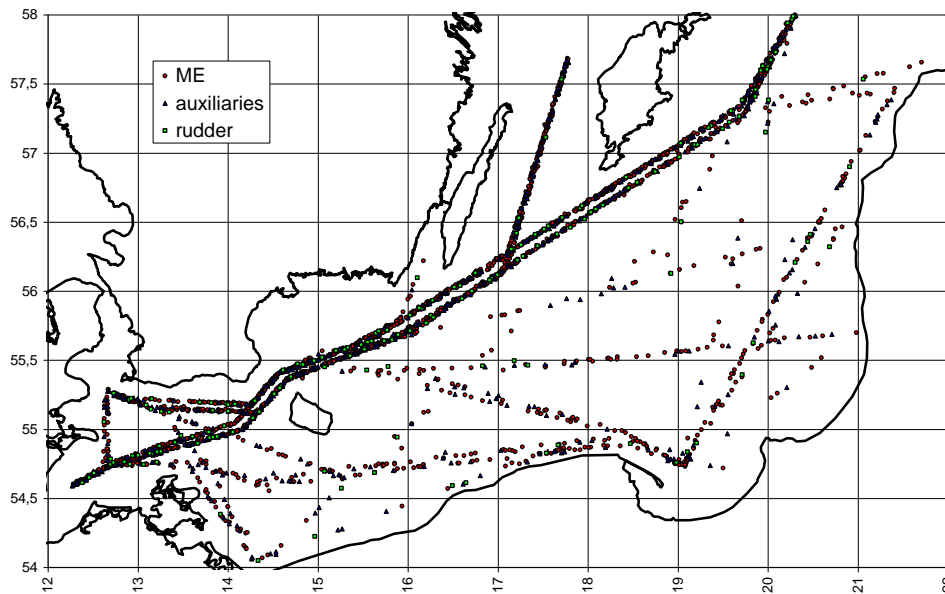


Figure 6. Location of 1-utilization period damages on The Southern Baltic Sea

6. Conclusion

Using the properties of exponential distribution and stochastic modeling as well as considering abovementioned real statistical data, we have created the analytical model simulating the number of damage or failure on the ships in the assumed time. It determines the chance of event occurrence after chosen amount of 1-year utilization periods.

Calculations and simulation analysis which were carried out, create the picture of failures and damages location on the specific units. Such simulations allow to state, how does the damage and failure distribution develop, for the given type of ship (in the model, data concerning bulk carriers of tonnage from 10 to 100 thousand DWT was used) and on this basis conclude which systems on the ship requires close attention in the aspect of increasing the safety and reliability of service. Moreover they can be also used by different types of institutions responsible for navigation safety, procedure planning, planning of recommendations and orders applied to utilization and design of solutions for the marine industry.

7. References

1. Corbett J.: *Considering alternative input parameters in an activity-based ship fuel consumption and emissions model: Reply to comment by Øyvind Endresen et al. on “Updated emissions from ocean shipping”*. <http://www.ocean.udel.edu/cms/jcorbett/CorbettKoehler2004.pdf>, 2004.
2. Hann M.: *On the Possibility of Applying Reliability Theory for the Practice of the Ship's Structural Design*. II West-Pomeranian Science Congress, Maritime University of Szczecin, Szczecin, 2005.

SZACOWANIE PRAWDOPODOBIENSTWA AWARII STATKÓW NA POŁUDNIOWYM BAŁTYKU Z WYKORZYSTANIEM MODELU SYMULACYJNEGO I DANYCH STATYSTYCZNYCH

1. Wstęp

Konstrukcje okrętowe mogą być projektowane przy użyciu probabilistycznych metod analizy niezawodności. Z uwagi na skomplikowaną budowę podzespoły takie jak silnik główny, agregaty, automatyka sterowania lub elementy napędowe są wrażliwe na oddziaływanie otoczenia oraz czynnika ludzkiego. Z tego powodu związki pomiędzy zdarzeniami powodującymi uszkodzenia są złożone, co prowadzi do zastosowania w analizie niezawodności metod symulacji komputerowej.

Przyjmując definicję niezawodności jako cechy urządzenia polegającej na zdolności do funkcjonowania bez uszkodzenia w określonych warunkach i określonym czasie określa się jej liczbowe i funkcyjne miary, którymi najczęściej są:

- wartość oczekiwana czasu pracy do uszkodzenia \bar{T}_u ,
- funkcja niezawodności $R(t)$
- funkcja intensywności uszkodzeń $\lambda(t)$.

Są to miary natury probabilistycznej, bo oparte na ocenie prawdopodobieństwa zaistnienia zdarzenia polegającego na uszkodzeniu uniemożliwiającym działanie, a więc pełnienie założonej funkcji przez urządzenie techniczne.[2]

2. Model symulacyjny awarii i uszkodzeń statku z wykorzystaniem metod stochastycznych oraz danych statystycznych

Model symulacyjny awarii statku do oceny jego bezpieczeństwa, jest algorytmem matematycznym szacującym, jakie jest prawdopodobieństwo

wystąpienia uszkodzenia lub awarii statku, mających wpływ na niezawodność w nawigacji statku.

Obliczenia opierają się na własnościach rozkładów statystycznych, które odzwierciedlają (ma poziomie odpowiedniego stopnia ufności) przebieg uszkodzeń elementów statku w rzeczywistości.

Intensywność uszkodzeń statku zależy od wielu czynników, m.in. od:

- wieku jednostki
- typu statku
- tonażu
- rodzaju uprawianej żeglugi
- akwenu żeglugi
- innych

Zdobycie tak szczegółowych danych dla sporządzenia liczebnej i miarodajnej populacji badawczej jest bardzo problematyczne, a wręcz nieosiągalne. Populacją, o którą opiera się model jest flota Polskiej Żeglugi Morskiej oraz dane z raportów rocznych stoczni remontowych i producentów maszynowych urządzeń statkowych. Dane statystyczne (tab.2) o uszkodzeniach statków obejmują okres 6 lat (1999-2005) i dotyczą wszystkich statków przedsiębiorstwa. W chwili obecnej PŻM posiada ogółem 77 statków o łącznej nośności 2,1 mln. dwt. Są to masowce w grupach: coaster 4 400 dwt., liczną grupą handy-size oraz panamaxy 73 500 dwt. Poza masowcami PŻM posiada 4 siarkowce oraz promy m/f Polonia oraz m/f Gryf zarządzany przez Unity Line Szczecin.

Proces szacowania prawdopodobieństwa uszkodzenia danego systemu, znajduje swoje odzwierciedlenie we własnościach rozkładu wykładniczego.

3. Dane wejściowe modelu

Jak zostało nadmienione, dane wejściowe oraz zmienne losowe modelu uszkodzeń i awarii statku, zostały przygotowane na podstawie próbek statystycznych floty PŻM, Stoczni Remontowej oraz publikacji związanych z żywotnością i eksploatacją systemów statkowych.

Zmienną wejściową jest ilość rocznych okresów eksploatacyjnych statku. Przez roczny okres eksploatacyjny rozumiemy średnią liczbę dni roboczych systemów w roku (tab.1). W przybliżeniu wynosi on 208 dni dla statków o nośności 1000-10000 DWT (próba badawcza - 90% floty PŻM). Populację badawczą stanowią dane o średniej liczbie uszkodzeń i awarii statku w

okresie eksploatacyjnym oraz średnie lub min/max czasy ich naprawy (tab.2).

Tabela 1. Średni roczny okres eksploatacyjny statku [2]

DWT	Czas pracy silnika	Czas eksploatacji statku w roku	Liczba zawinięć do portu	Liczba dni w porcie	Czas pracy silnika	Liczba dni bez pracy silnika (w porcie)	Liczba dni statku w morzu	Czas przestoju	Maksymalny czas statku w morzu (~5 dni przestoju)
[tona]	[h]	[dzień]	-	[dzień]	[dzień]	[dzień]	[dzień]	[dzień]	[dzień]
	A	B	C	$D=C \times 1,5$	$E=A/24$	$F=B - (A/24)$	$G=B - D$	$H=360 - B$	$I=360 - D$
< 5,000	4000	240	100	150	167	73	90	120	210
5,000 – 100,000	5000	270	60	90	208	62	180	90	270
> 100,000	6000	300	35	53	250	50	247	60	307
Średnia dla statków floty światowej	5840	300	70	105	243	57	210	60	255

Przez uszkodzenie rozumie się stan niesprawności systemu, który jest eliminowany tylko i wyłącznie przez załogę statku. Awarią statku nazywamy stan niesprawności zaistniały podczas eksploatacji statku, który nie może zostać wyeliminowany w ramach możliwości załogi statku, na skutek, czego konieczna jest naprawa w stoczni lub przez serwis (tab. 3).

Tabela 2. Liczba awarii statków floty PŻM

Uszkodzenie/awaria	Roczna liczba awarii/uszkodzeń						
	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
Uszkodzenie urządzeń w maszynowni :	[%] z całej floty PŻM						
- silnik główny	10.1	2.2	18.5	23.0	17.1	21.3	5.3
- agregaty	7.9	6.6	7.4	10.8	9.2	8.0	6.7
Uszkodzenie sterowania:	[%] z całej floty PŻM						
- płetwa sterowa	2.2	2.2	1.2	4.1	1.3	1.3	4.0
- wał lub śruba napędowa	6.7	5.5	7.4	5.4	3.9	5.3	2.7

Przyjęto, że każdą awarię poprzedzają oględziny (minimum 0,5 godziny) lub nieudana próba naprawy uszkodzenia.

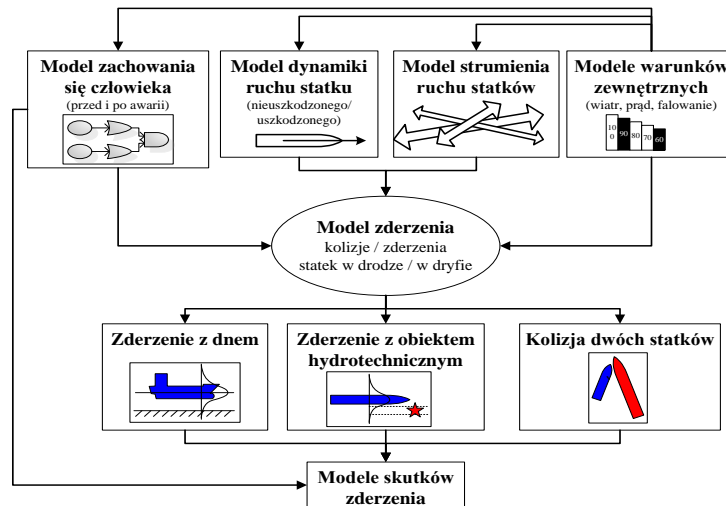
Tabela 3. Liczba zdarzeń przypadająca na jednostkę w rocznym okresie eksploatacyjnym oraz przybliżone czasy ich napraw

Rodzaj usterki	Średnia liczba awarii systemów [awarii/o. eksp.]	Czas usunięcia awarii		Średnia liczba uszkodzeń systemów [awarii/o. eksp.]	Czas usunięcia uszkodzenia	
		min [h]	max [h]		min [h]	max [h]
Uszkodzenie urządzeń maszynowych:						
- silnika głównego	0.139	168	2160	12.83	0.5	72
- silników pomocniczych	0.081	60	336	5.3		84
Uszkodzenia urządzeń sterowych:						
- pletwy sterowej lub instalacji sterowych	0.023	264	496	1.1	0.5	69
- instalacji wału i śruby napędowej	0.053	24	1465	-	-	-

Model nie uwzględnia procesów starzenia się i odnowy poszczególnych elementów systemów, z uwagi na brak dostępności do danych tego typu.

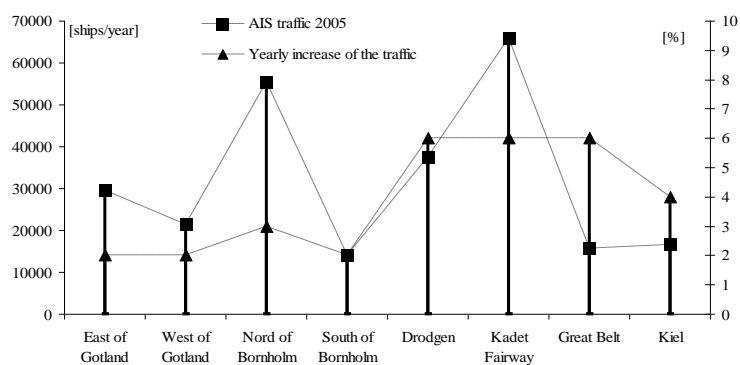
4. Stochastyczny model oceny bezpieczeństwa nawigacyjnego

Jednym z najważniejszych podejść do oceny bezpieczeństwa kompleksowych systemów inżynierii ruchu morskiego jest użycie modeli symulacyjnych [[Gucma 2005, Gućma 2003]. Model przedstawiony na rysunku 1 może być użyty do badania niemal wszystkich typów wypadków takich jak: kolizje, wejścia na mieliznę, kolizje z obiektami stałymi [Gucma 2003], uszkodzenia pośrednie (wypadki wywołane rzuceniem kotwicy lub falą wytworzoną przez poruszający się statek) oraz awarie techniczne. Model może zawierać moduły odpowiedzialne za poszczególne zdarzenia. Taka metodologia była już stosowana, z różnym skutkiem, przez wielu autorów [Friis-Hansen & Simonsen 2000, Merrick et al. 2001, Otay & Tan 1998]. W przedstawionych badaniach model użyty był to określenia prawdopodobieństwa wystąpienia głównych typów awarii technicznych w rejonie południowego Bałtyku.

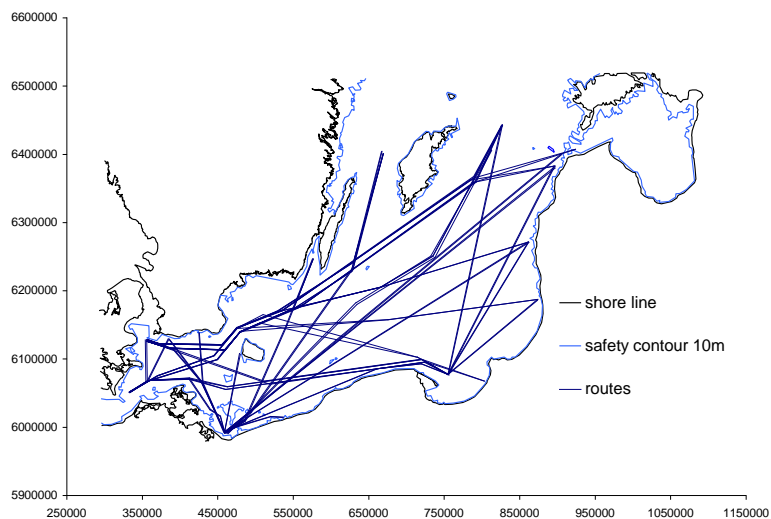


Rys. 1. Schemat modelu oceny bezpieczeństwa nawigacyjnego

Do pracy modelu symulacyjnego niezbędnych jest wiele źródeł danych. Dane dotyczące ruchu statków uzyskane zostały poprzez analizę danych AIS [Assessment 2005] i statystyk wejść do danych portów. Dane pogodowe pochodzą z polskich stacji meteorologicznych, zostały one przetworzone w celu opisu warunków panujących na otwartym morzu [Risk 2002]. Dane nawigacyjne otrzymano z map nawigacyjnych i własnego doświadczenia morskiego. Symulowane trasy statków przedstawione są na rysunku 3.

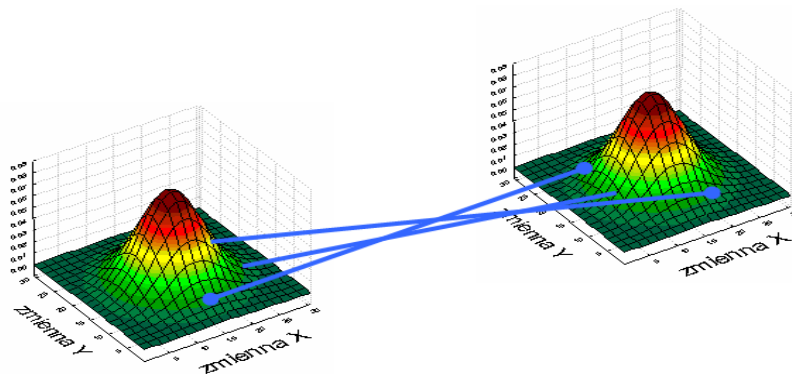


Rys. 2. Intensywność ruchu statków oraz jej wzrost na badanym akwenie



Rys. 3. Symulowane trasy statków na badanym akwencie

Ruch statków zamodelowany został jako niehomogeniczny proces Poissona, intensywność ruchu statków obliczona została na podstawie danych rzeczywistych z systemu AIS (Automatic Identification System) z sieci bazy HELCOM, która działa od połowy 2005 roku. Zebrane dane zostały użyte również do wyznaczenia tras statków, rozkładów typów, długości oraz zanurzenia statków. Zmienność średnich tras statków zamodelowana została poprzez zastosowanie dwuwymiarowego rozkładu normalnego, którego parametry oszacowane zostały na podstawie danych AIS oraz opinii nawigatorów-ekspertów (rysunek 4).



Rys. 4. Dwuwymiarowe rozkłady normalne

5. Wyniki

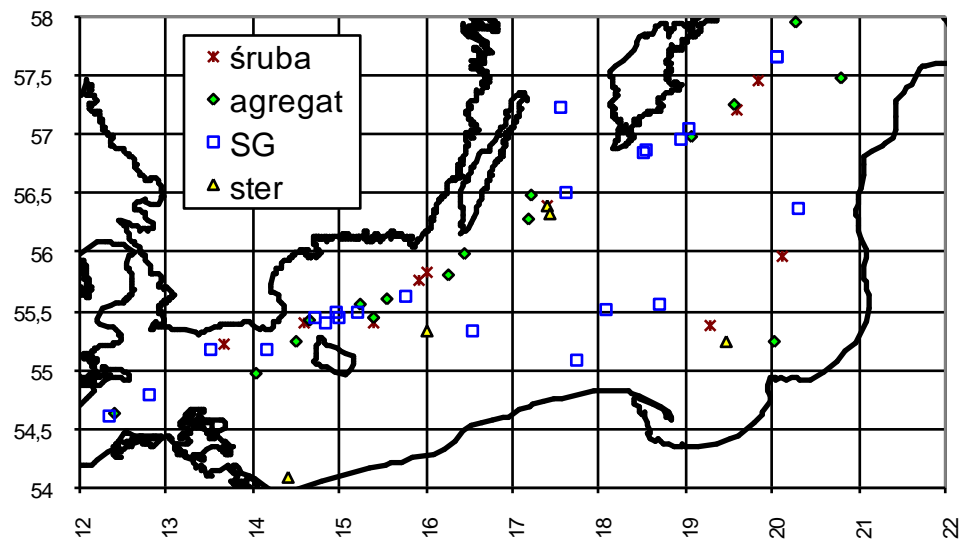
Z wyników symulacji oraz z analizy zgromadzonych danych wynika, że wraz ze wzrostem ilości okresów eksploatacyjnych statku, wzrasta jego podatności na wystąpienie awarii danego systemu (tab.4). Wynika to z faktu, iż każde urządzenie statkowe poddane jest procesowi niszczenia, którego intensywność zależy od czynników eksploatacyjnych takich jak m.in. fachowość obsługi, dokładność zaprojektowania i wykonania oraz warunki środowiskowe, w których pracuje.

Z dokonanych symulacji oraz na podstawie wiedzy ekspertów i materiałów badawczych wynika, że proces uszkodzeń i awarii systemów statkowych w dużej mierze ma charakter losowy. Nie można jednoznacznie stwierdzić i stabelaryzować stosunków ilości występowania określonych typów usterek do z góry założonego wieku jednostki. Zdarza się, że statki względnie młode rocznikowo, doznają usterek, które nie wystąpiły nigdy w jednostkach starych i wyeksploatowanych.

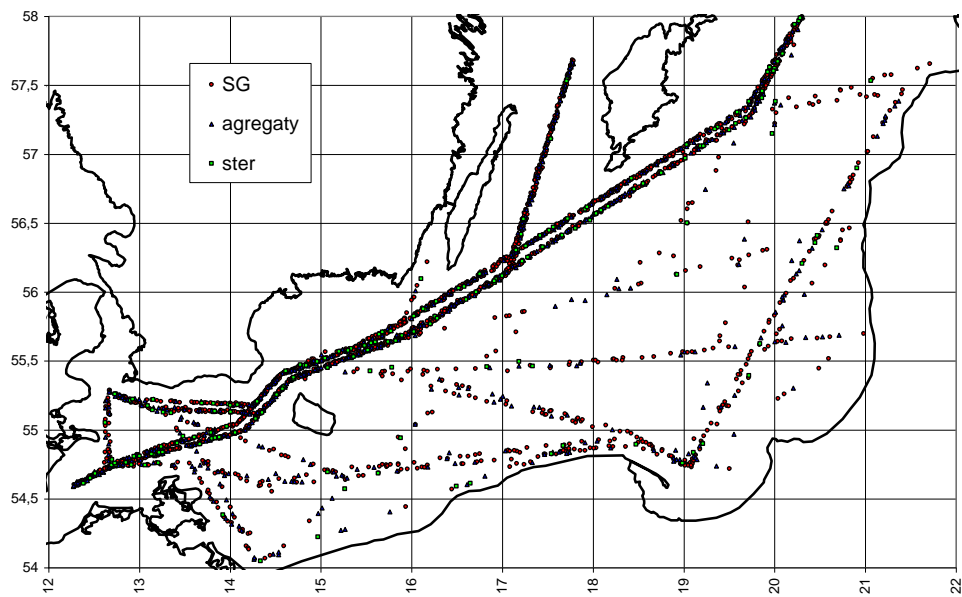
Podobny rozkład ma charakterystyka gęstości miejsc występowania uszkodzeń (Rys.5) w porównaniu do gęstości występowania awarii (Rys.6). Intensywność obu zdarzeń jest procesem losowym i zależy od bardzo wielu czynników (jakości obsługi, zjawisk fizyczno-chemicznych), których nie sposób jest uwzględnić w tego typu modelu.

Tabela 4. Liczba awarii i uszkodzeń otrzymana z przeprowadzonej symulacji na przełomie 37 okresów eksploatacyjnych

Awaria/uszkodzenie	Czas symulacji [liczba okr. ekspl.]	Awarie		Uszkodzenia	
		ilość	il/okres ekspl.	ilość	il/okres. ekspl.
generatory	37	484	13,08	31093	840,35
silnik główny	37	834	22,54	75264	2034,16
płetwa lub instalacja sterowa	37	133	3,59	6373	172,24
wał lub śruba napędowa	37	316	8,54	-	-



Rysunek 5. Gęstość występowania awarii statków na obszarze południowego Bałtyku.



Rysunek 6. Gęstość występowania uszkodzeń statków na obszarze południowego Bałtyku.

6. Zakończenie

Przy wykorzystaniu właściwości rozkładu wykładniczego i modelowania stochastycznego, a także uwzględnieniu w/w rzeczywistych danych statystycznych, został stworzony analityczny model symulujący prawdopodobieństwo uszkodzenia lub awarii statku w założonym czasie. Określa on, jaka jest szansa zajścia zdarzenia po wskazanej ilości rocznych okresów eksploatacyjnych.

Dokonane obliczenia i analizy symulacyjne tworzą obraz intensywności występowania zdarzeń na określonych jednostkach pływających. Takie symulacje pozwalają stwierdzić, jak kształtuje się rozkład uszkodzeń lub awarii dla danego typu statku (w modelu wykorzystano dane dotyczące masowców o tonażu 10-100 tyś DWT) i na ich podstawie wnioskować jakie systemy statkowe wymagają głębszej uwagi w aspekcie zwiększenia bezpieczeństwa i niezawodności obsługi. Ponadto mogą być również wykorzystywane przez różnego rodzaju instytucje odpowiedzialne za bezpieczeństwo nawigacji, w planowaniu procedur, zaleceń i nakazów obowiązujących przy eksploatacji i projektowaniu rozwiązań dla branży morskiej.



GUCMA Lucjan is professor in Navigational Faculty of Maritime University of Szczecin, Poland. In 2004 he became the Director of Marine Traffic Engineering Institute. His main scientific interest is concern with probabilistic method in safety of ships assessment on restricted water areas. He has published the book titled “The models of risk factors of ship collision with fixed offshore and port structures” and more than 50 papers in journals and conference proceedings.



PRZYWARTY Marcin (MSc) is research and teaching employee of Szczecin Maritime University. His main scientific interest involves probabilistic methods in ships safety assessment. He is an author of several scientific publications.



GRALAK Rafał (MSc), Maritime University of Szczecin, Maritime Traffic Engineer, Assistant in Marine Traffic Engineer Centre, specialization: engineering, marine 3D model projecting, probabilistic simulating.

