

Mirosław Gerig<sup>1</sup>, Krzysztof Wardynszkiewicz<sup>2</sup>  
Wydział Oceanotechniki i Okrętownictwa Politechniki Gdańskiej

## Hybrydowy model do szybkiej oceny bezpieczeństwa statku w czasie katastrofy na morzu

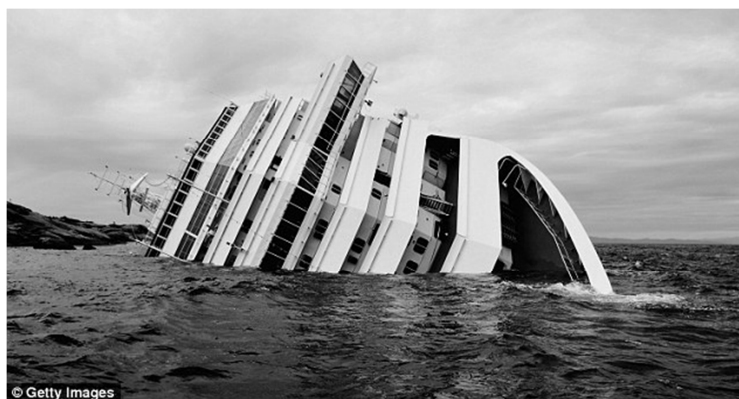
### 1. WPROWADZENIE

Tematyka artykułu ukierunkowana jest na bezpieczeństwo statków w stanie uszkodzonym w czasie katastrofy na morzu. Jak poważne mogą być konsekwencje katastrof statków, związane z kolizją, uderzeniem o przeszkodę lub wejściem na mieliznę, można zorientować się analizując dwie wybrane katastrofy zbiornikowców, które zaliczono do grupy najgroźniejszych katastrof XX i XXI wieku. Są to [3, 20]:

- katastrofa Amoco Cadiz (1978) - do morza dostało się ok. 223 000 ton ropy;
- katastrofa Exxon Valdez (1989) - plama ropy na powierzchni około 1300 km<sup>2</sup>, zginęły niezliczone ilości ryb, ptaków, fok, morsów i wielorybów.

Niedawna katastrofa statku "Costa Concordia" ponownie pogłębiła obawy co do rzeczywistego poziomu bezpieczeństwa statków pasażerskich w stanie uszkodzonym (patrz rysunek 1).

Z analiz katastrof na morzu wynika, że dotychczasowe wypadki nie uchroniły ludzkości przed popełnianiem często tych samych błędów. Bardzo pouczająca w tym względzie jest analiza wypadków, które wydarzyły się na akwenie Morza Bałtyckiego [14, 15].



Rys. 1. "Costa Concordia" u wybrzeży Włoch

Źródło: Getty Images.

Z uwagi na wady obecnie stosowanych metod oceny bezpieczeństwa statków oraz z uwagi na wady aktualnego podejścia do bezpieczeństwa statków, wydaje się konieczne przyspieszenie prac nad zmianą dotychczasowych przepisów normowania bezpieczeństwa statków w stanie uszkodzonym. Zestawienie zalet i wad obecnie stosowanej metody oceny bezpieczeństwa statków w stanie uszkodzonym, zawartej w przepisach konwencji SOLAS 2009 oraz zalety i wady obecnego podejścia do bezpieczeństwa statków przedstawiono w literaturze [3].

Celem prezentowanych badań jest opracowanie metody do oceny bezpieczeństwa statków w stanie uszkodzonym w czasie katastrofy na morzu, w tym szybkie modelowanie sytuacji na morzu w czasie katastrofy [3].

<sup>1</sup> mger@pg.gda.pl

<sup>2</sup> Krzysztof.Wardynszkiewicz@dnv.com

## 2. STATEK W STANIE USZKODZONYM

Statek znajduje się w stanie uszkodzonym, jeśli na skutek wystąpienia takich zagrożeń jak kolizja, uderzenie o przeszkodę, wejście na mieliznę, atak terrorystyczny czy inne, nastąpi dostawanie się dużych ilości wody zaburtowej do wnętrza kadłuba statku, co spowoduje znaczne obniżenie poziomu bezpieczeństwa statku do jego utraty włącznie. Statek może znaleźć się w stanie uszkodzonym także wtedy, gdy uszkodzeniu uległ jeden z podstawowych podsystemów statku lub gdy doszło na przykład do ataku terrorystycznego.

Proces zatapiania przedziału lub danej grupy przedziałów wodoszczelnych na statku dzieli się na etapy i fazy. Wyróżnia się etapy: początkowy, pośrednie i końcowy. Fazy dotyczą stopnia wypełnienia zatapianego przedziału wodą zaburtową. W czasie zatapiania woda zaburtowa może dostawać się do wnętrza kadłuba statku jak i wydostawać się z niego. Proces ten zależy od wielu czynników. Na statek w stanie uszkodzonym działają różne wymuszenia wewnętrzne i zewnętrzne, najczęściej o charakterze losowym. W stanie uszkodzonym, statek powinien zachować zarówno stateczność jak i pływalność. Przy czym za ważniejszą należy uznać zdolność statku do zachowania stateczności. Obie cechy decydują o przetrwaniu procesu zatapiania przez statek na każdym etapie i w każdej fazie jego zatapiania. Obie cechy w znacznym stopniu decydują o tym, czy po zakończeniu procesu zatapiania statek może kontynuować misję, czy może dotrzeć do portu o własnych siłach, czy należy go przeholować do najbliższego portu schronienia czy też powinien oczekiwać na pomoc z zewnątrz. Najmniej pożądana jest utrata statku na skutek utraty stateczności i/lub pływalności [3].

## 3. METODA OCENY BEZPIECZEŃSTWA STATKU W STANIE USZKODZONYM

W ramach prac koordynowanych przez IMO, proponuje się zastosować do oceny bezpieczeństwa statków w stanie uszkodzonym, wymienione niżej metody.

Pierwsza metoda oparta jest na zastosowaniu całościowego modelu ryzyka [5-9, 17, 18]:

$$R = P_C P_{C/F} P_{C/F/NS} P_{C/F/NS/TTS} C \quad (1)$$

gdzie:

$P_C$  – prawdopodobieństwo wystąpienia kolizji,

$P_{C/F}$  – prawdopodobieństwo warunkowe zatapiania kadłuba po uszkodzeniu poszycia na skutek kolizji,

$P_{C/F/NS}$  – prawdopodobieństwo warunkowe nieprzetrwania kolizji na skutek zatapiania kadłuba po uszkodzeniu poszycia na skutek kolizji,

$P_{C/F/NS/TTS}$  – prawdopodobieństwo warunkowe wystąpienia danego czasu tonięcia statku na skutek nieprzetrwania kolizji na skutek zatapiania kadłuba po uszkodzeniu poszycia na skutek kolizji,

$C$  – konsekwencje kolizji z uwagi na ofiary, zranienia, mienie (ładunek, statek) i środowisko.

Druga metoda, oparta jest na określeniu:

- jakie zatopienie pod względem jego położenia i wielkości (określanej na podstawie ilości wody jaka może się dostać do wnętrza kadłuba przez uszkodzenie w poszyciu kadłuba statku), statek jest w stanie przetrwać,
- czasu zatapiania i
- możliwości powrotu uszkodzonego statku do portu.
- W metodzie tej cele bezpieczeństwa zostały podzielone na trzy kategorie [19]:
- I - statek zachował pływalność i jest zdolny do powrotu do portu o własnych siłach RTP (ang. Return To Port),
- II - statek zachował pływalność ale jest niezdolny do powrotu do portu o własnych siłach WFA (ang. Waiting For Assistance),
- III – statek prawdopodobnie przewróci się i zatonie, konieczne będzie opuszczenie statku AS (ang. Abandonment of the Ship).

Trzecia metoda oparta jest na koncepcji prawdopodobieństwa zupełnego przetrwania kolizji przez statek, w postaci wskaźnika podziału grodziowego  $A_{SRtP}$  (gdzie: SRtP – Safe Return to Port), który jest obliczany na podstawie charakterystyk stateczności resztowej (stateczności awaryjnej) statku w stanie uszkodzonym [8]:

$$A_{SRtP} = 0,4 A_{SRtP,s} + 0,4 A_{SRtP,p} + 0,2 A_{SRtP,l} \quad (2)$$

gdzie:

$A_{SRtP,s}$ ,  $A_{SRtP,p}$  i  $A_{SRtP,l}$  – wskaźniki podziału grodziowego odpowiadające stanom załadownia statku: pełnemu (s), pośredniemu (p) i balastowemu (l). Wskaźniki  $A_{SRtP,s}$ ,  $A_{SRtP,p}$  i  $A_{SRtP,l}$  należy obliczać zgodnie z zależnością podaną w przepisach [8].

Ocenę bezpieczeństwa statków w stanie uszkodzonym można przeprowadzić za pomocą metod prawno-nakazowych, które oparte są na obowiązujących przepisach lub za pomocą metod, opartych na ocenie zachowania się statku i ocenie ryzyka wypadku [3].

Wszystkie dotychczasowe metody mają charakter preskrypcyjny i oparte są na wymaganiach zawartych w przepisach konwencji (na przykład SOLAS, MARPOL). Metody te trudno zastosować do oceny bezpieczeństwa statków w warunkach operacyjnych. Wynika to między innymi z faktu, że są one ukierunkowane raczej na projektowanie. Niektóre elementy tych metod mają charakter semi-probabilistyczny lub wręcz deterministyczny. Najpoważniejszym mankamentem tych metod jest to, że przy ich zastosowaniu bierze się pod uwagę ograniczoną ustaloną liczbę scenariuszy wypadku. To wyklucza raczej możliwość ich zastosowania do oceny bezpieczeństwa statku w czasie katastrofy [3, 5-7].

Z badań własnych wynika, że lepszą metodą oceny bezpieczeństwa statków w stanie uszkodzonym w warunkach operacyjnych byłaby metoda oparta na ocenie zachowania się statku i ocenie ryzyka wypadku [3]. Strukturę takiej metody przedstawiono na rysunku 2 [3].



Rys. 2. Struktura metody oceny bezpieczeństwa statków w stanie uszkodzonym, opartej na ocenie zachowania się statku i ocenie ryzyka.

Źródło: opracowanie własne.

Główną cechą metody jest to, że do oceny bezpieczeństwa statku zastosowano tak zwane podejście całościowe, które polega między innymi na [3]:

- uwzględnieniu wpływu na bezpieczeństwo statku czynników o charakterze projektowym, eksploatacyjnym i tych związanych z zarządzaniem i czynnikiem ludzkim,
- zastosowaniu całościowego modelu ryzyka, który umożliwi wzięcie pod uwagę możliwie wszystkich scenariuszy wypadku.

Do oceny zachowania się statku można wykorzystać badania na modelach fizycznych lub symulację komputerową. Ocena zachowania się statku uszkodzonego dotyczy oceny jego pływalności, stateczności i zachowania się pod wpływem wymuszeń wewnętrznych (zatapianie, przesunięcie ładunku) i zewnętrznych (oddziaływanie falowania, wiatru). Ilustrację elementu takich badań przy użyciu dużego modelu zbiornikowca przedstawiono na rysunku 3. Ocenę zachowania się statku uszkodzonego za pomocą symulacji komputerowej można przeprowadzić stosując oprogramowanie oparte na nieliniowych modelach kołysań statku. Modele te umożliwiają analizę zachowania się statku w stanie uszkodzonym przy dużych kątach kołysań (przechyłu, przegłębienia, myszgowania) w dziedzinie czasu, stosując stochastyczne nieliniowe równania ruchu statku [2, 3].

Siły hydrodynamiczne działające na kołyszący się statek wraz z siłami od działania wody w zatopionym przedziale można wyznaczyć za pomocą hybrydowej metody wyznaczania sił od ciśnienia w wodzie. Elementy takiej metody opracowano w ramach omawianych badań.

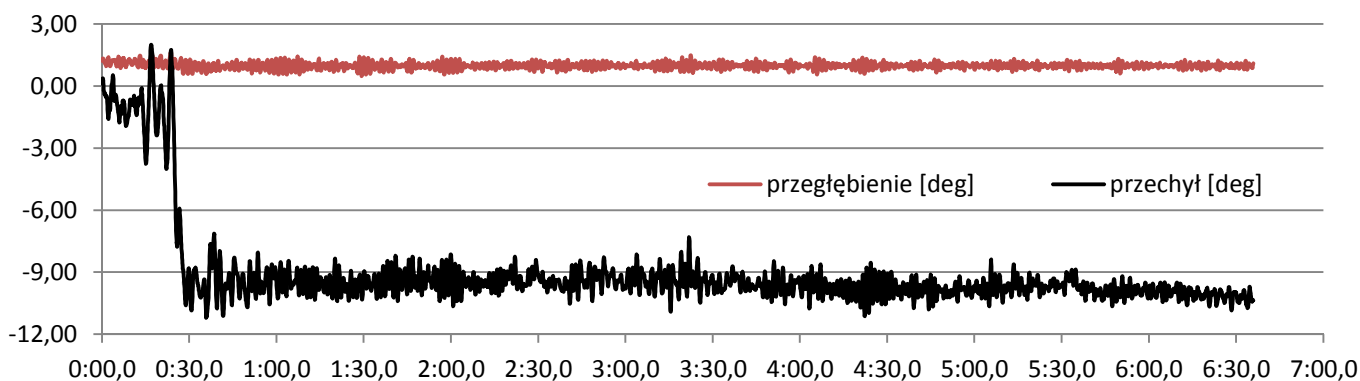


Rys. 3. Ilustracja badań zatapiania dużego modelu zbiornikowca.

*Źródło: opracowanie własne.*

Ocena zachowania się statku na wszystkich etapach i we wszystkich fazach jego zatapiania, wymaga znajomości przebiegów czasowych kołysań liniowych i kątowych, dla wybranych stopni swobody. W przypadku statku w stanie uszkodzonym takimi charakterystykami są przebiegi czasowe kołysań bocznych kątowych (roll) lub kołysań podłużnych kątowych statku (pitch). Przykład takich przebiegów, w postaci kątów przechyłu i przegłębienia, otrzymanych dla dużego modelu fizycznego w stanie uszkodzonym przedstawiono na rysunku 4. Z punktu bezpieczeństwa statku w stanie uszkodzonym, większe znaczenie w ocenie zachowania się statku ma przebieg (charakterystyka hydromechaniczna statku), który charakteryzuje się dużymi zmianami co do ich wartości. Na przykład dużymi zmianami wartości kołysań bocznych kątowych (roll), co przedstawiono na rysunku 4.



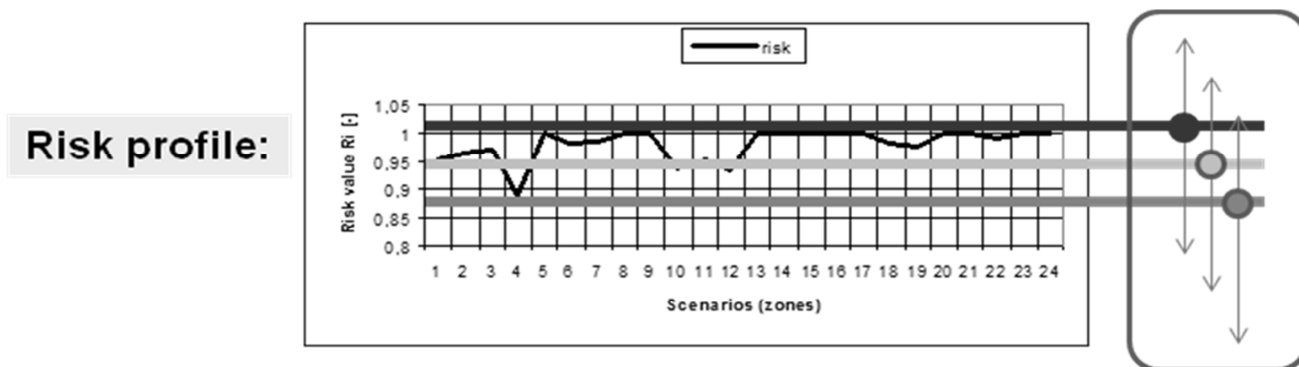


Rys. 4. Przykład przebiegu czasowego kołysań bocznych kątowych (roll) wraz z przebiegiem czasowym kołysań podłużnych kątowych statku (pitch).

Źródło: opracowanie własne.

Ocena zachowania się statku w stanie uszkodzonym umożliwia analizę scenariuszy wypadku w postaci drzew zdarzeń (drzew konsekwencji) ETA. Drzewa zdarzeń ETA umożliwiają szacowanie ryzyka wypadku [3]. Ocena ryzyka wypadku wymaga oszacowania ryzyka, którego model przedstawiono w rozdziale 4. Potem należy dokonać oceny ryzyka (RA, QRA) stosując kryteria akceptacji ryzyka (RAC) w postaci macierzy ryzyka lub koncepcji ALARP. Przy ocenie ryzyka i zarządzając ryzykiem stosuje się także opcje kontroli ryzyka (RCO) [3, 9, 17].

Przykład zastosowania koncepcji ALARP do oceny czasu ewakuacji załogi i pasażerów ze statku, wykorzystując przebieg kołysań bocznych kątowych (roll) statku w stanie uszkodzonym i wartości ryzyka, przedstawiono na rysunku 5. Miarą bezpieczeństwa statku w stanie uszkodzonym w proponowanej metodzie jest poziom ryzyka [3].



Rys. 5. Przykład zastosowania koncepcji ALARP do oceny czasu ewakuacji statku w stanie uszkodzonym w oparciu o przebieg kołysań bocznych kątowych statku (roll) i wartości ryzyka.

Źródło: opracowanie własne.

#### 4. RYZYKO NIEPRZETRWANIA KATASTROFY PRZEZ STATEK

Ryzyko wypadku w metodzie zostało zdefiniowane jako iloczyn prawdopodobieństwa wystąpienia danego zagrożenia  $P_i$  i konsekwencji wypadku  $C_i$  [3, 13]:

$$R_i = P_i C_i \tag{3}$$

Ryzyko wypadku w metodzie nazwano ryzykiem nieprzetrwania kolizji przez statek. Wyznacza się je przy użyciu macierzowego modelu ryzyka. Bez względu na metodę oceny zachowania się statku w stanie uszkodzonym (badania na modelu fizycznym czy symulacja komputerowa), ryzyko nieprzetrwania kolizji przez statek należy obliczyć w sposób następujący [3, 17]:

$$R = P_C P_{F/C} P_o C C_C \tag{4}$$

gdzie:

- $P_C$  - prawdopodobieństwo wystąpienia kolizji,
- $P_{F/C}$  - prawdopodobieństwo zatopienia obiektu po wystąpieniu kolizji,
- $PoC$  - prawdopodobieństwo nieprzetrwania katastrofy przez obiekt (statek),
- $C_C$  - konsekwencje katastrofy szacowane na podstawie analizy zachowania się uszkodzonego obiektu.

Przy czym prawdopodobieństwo nieprzetrwania kolizji przez statek  $PoC$  można wyznaczyć za pomocą jednej z pięciu metod [3]: zero-jedynkowej, statycznej, opartej o definicję prawdopodobieństwa zupełnego przetrwania kolizji przez statek A, opartej na ocenie zachowania się statku w stanie uszkodzonym i identyfikacji charakterystyk procesu stochastycznego kołysań bocznych statku w stanie uszkodzonym (metoda własna) oraz metody opartej na zastosowaniu teorii zbiorów rozmytych.

Analiza ryzyka przy użyciu metody opartej na ocenie zachowania się statku w stanie uszkodzonym polega najpierw na identyfikacji charakterystyki procesu stochastycznego kołysań bocznych statku w stanie uszkodzonym. Następnie należy obliczyć prawdopodobieństwa warunkowe, dotyczące zdarzeń inicjujących  $ZI_i$ , zdarzeń głównych  $ZG_j$  (zagrożenia), zdarzeń pośrednich  $ZP_k$  i zdarzeń końcowych  $ZK_l$  (konsekwencje w scenariuszu wypadku) [3].

W przypadku, gdy w danym scenariuszu zdarzeń, na etapie zdarzeń pośrednich, występują też zdarzenia dodatkowe  $ZD_j$ , wyznaczenie prawdopodobieństwa warunkowego wystąpienia konsekwencji  $C_i$  (zdarzeń końcowych w prawdopodobieństwie  $PoC(C_i)$ ) znacznie się komplikuje [1, 3].

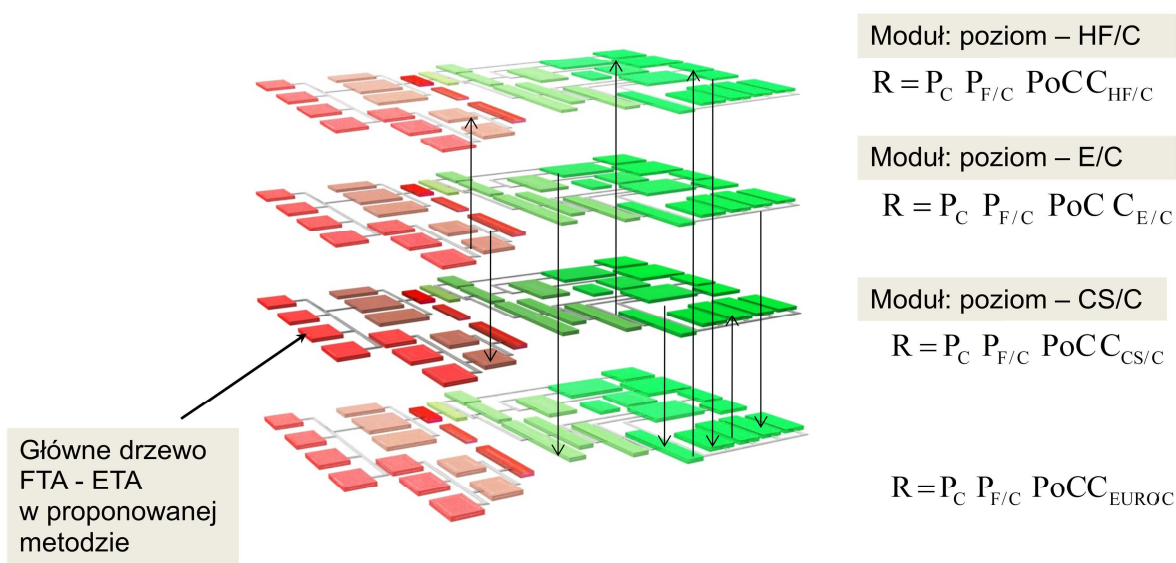
Wówczas prawdopodobieństwo warunkowe wystąpienia konsekwencji  $C_i$  (zdarzeń końcowych w prawdopodobieństwie  $PoC(C_i)$ ), występujące we wzorze (5), należy obliczyć w sposób następujący [3]:

$$PoC(C_i) = P(C_i, ZD_j) = P(C_i, ZD_j) P(ZD_j) \quad (5)$$

gdzie:

- $j$  – liczba indeksująca istniejące kategorie zdarzeń dodatkowych,
- $Nzd$  – liczba kategorii zdarzeń dodatkowych,
- $P(ZD_j)$  – prawdopodobieństwo wystąpienia zdarzenia dodatkowego  $ZD_j$ ,
- $P(C_i/ZD_j)$  – prawdopodobieństwo warunkowe wystąpienia skutków  $C_i$  pod warunkiem wystąpienia zdarzenia dodatkowego  $ZD_j$ .

Stopień komplikacji związanych z oceną ryzyka nieprzetrwania katastrofy przez statek, przy uwzględnieniu wpływu czynnika ludzkiego, środowiska i zarządzania (podejście całościowe do bezpieczeństwa), przedstawiono schematycznie na rysunku 6.



Rys. 6. Schemat przedstawiający wpływ czynnika ludzkiego, środowiska i zarządzania (podejście całościowe do bezpieczeństwa) na ocenę ryzyka nieprzetrwania katastrofy przez statek:  $R = P_C P_{F/C} PoC C_{CS/C}$ .

Źródło: opracowanie własne.

## 5. ZARZĄDZANIE BEZPIECZEŃSTWEM STATKU W STANIE USZKODZONYM

Ocena ryzyka jest związana z wyznaczeniem wartości ryzyka, jako iloczynu prawdopodobieństwa wystąpienia danego zagrożenia i konsekwencji jego wystąpienia oraz na użyciu odpowiednich kryteriów oceny ryzyka. Zarządzanie ryzykiem jest możliwe na podstawie oceny ryzyka i polega na znalezieniu odpowiedzi na następujące pytania [3, 4, 10, 11, 13, 16, 17]:

- co można zrobić żeby obniżyć ryzyko?
- jakie pociągnie to za sobą koszty?
- jaki będzie tego wpływ na przyszłe rozwiązania dotyczące bezpieczeństwa?

Zarządzanie ryzykiem można zdefiniować jako systematyczny i całościowy proces, który umożliwia ilościową ocenę ryzyka i zarządzanie nim [2]. Zarządzanie ryzykiem stanowi integralną część procesu zarządzania związanego z projektowaniem, eksploatacją i zarządzaniem systemem technicznym, którym jest statek i obejmuje następujące elementy:

- ocenę ryzyka,
- zarządzanie ryzykiem,
- system bezpieczeństwa statku (czynniki bezpieczeństwa).

Zarządzanie ryzykiem w metodzie jest oparte na strategii redukcji ryzyka, która polega na [3]:

- redukcji prawdopodobieństwa wystąpienia danych zdarzeń, obejmującej:
- redukcja prawdopodobieństwa wystąpienia zdarzeń pośrednich  $ZP_k$ ,
- redukcja prawdopodobieństwa wystąpienia zdarzeń dodatkowych  $ZD_j$ ,
- redukcji konsekwencji wypadku, obejmującej:
- redukcja prawdopodobieństwa wystąpienia zdarzeń końcowych  $ZK_1$  (w przypadku, gdy brak zdarzeń dodatkowych),
- redukcja prawdopodobieństwa wystąpienia konsekwencji  $PoC(C_i)$  (w przypadku, gdy występują zdarzenia dodatkowe).

Czynniki, wynikające z całościowego podejścia do bezpieczeństwa statku, z punktu widzenia całego okresu życia statku i czynniki związane z rzeczywistością otaczającą statek, powinny być uwzględnione w strukturze systemu zarządzania bezpieczeństwem. Należy podkreślić, że system bezpieczeństwa obejmuje elementy (i związki między nimi), które mają wpływ na bezpieczeństwo statku. System ten omówiono w literaturze [3].

System zarządzania bezpieczeństwem statku obejmuje elementy (i związki między nimi), które w czasie eksploatacji i w czasie katastrofy umożliwiają [3]:

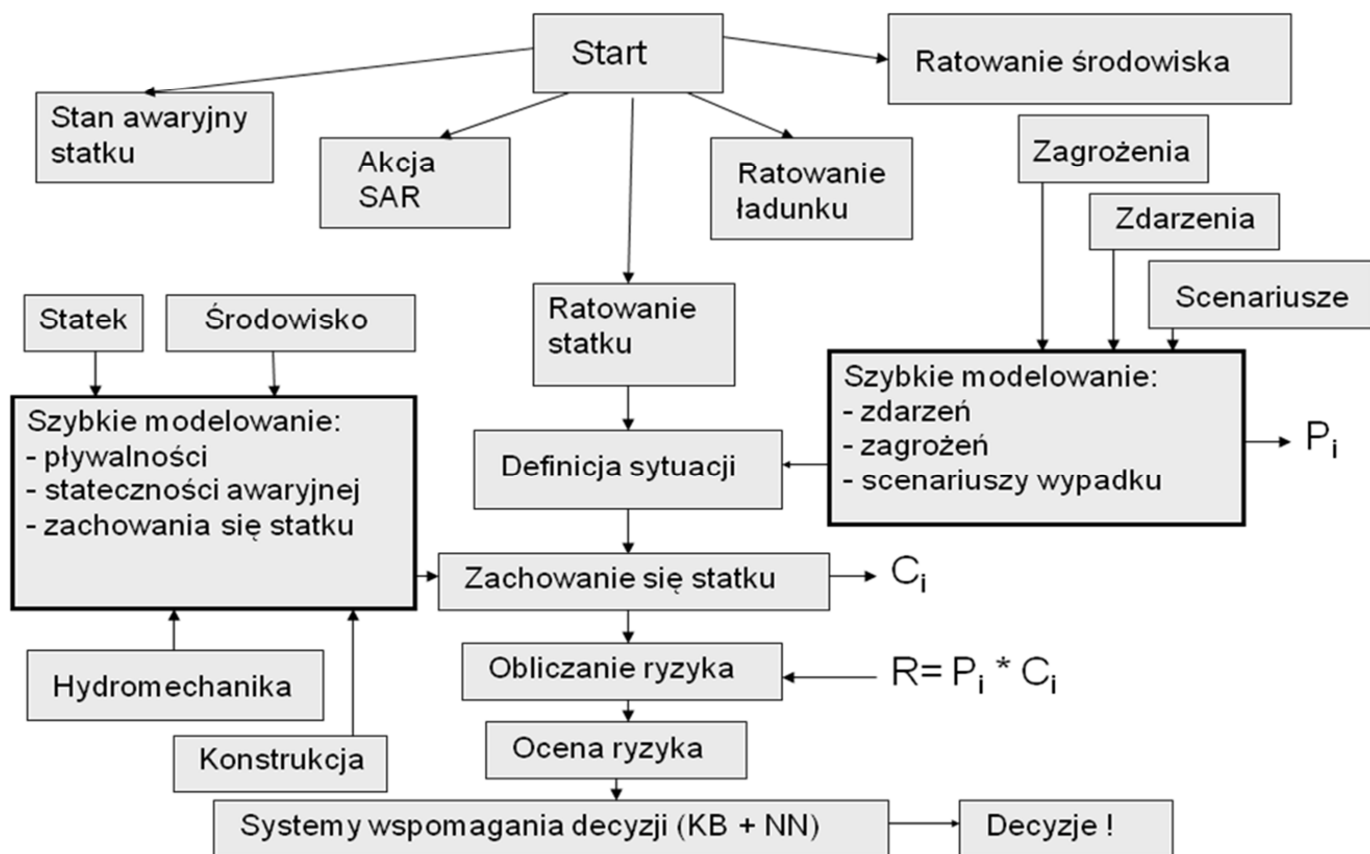
- uwzględnienie wpływu na bezpieczeństwo statku czynników bezpieczeństwa,
- ocenę ryzyka wypadku,
- zarządzanie ryzykiem.

Zarządzanie bezpieczeństwem statku w stanie uszkodzonym w metodzie oparte jest na schemacie przedstawionym na rysunku 7.

Dynamika sytuacji w czasie katastrofy obiektu na morzu, wymaga szybkiego podejmowania decyzji, dotyczących bezpieczeństwa obiektu, z ukierunkowaniem na bezpieczeństwo ludzi, mienia i środowiska naturalnego. Szybkie podejmowanie decyzji wymaga zastosowania systemu oceny bezpieczeństwa obiektu w stanie uszkodzonym. Schemat takiego systemu przedstawiono na rysunku 8 [3].



Rys. 7. Schemat zarządzania bezpieczeństwem statku w stanie uszkodzonym w omawianej metodzie.  
 Źródło: opracowanie własne.



Rys. 8. System oceny bezpieczeństwa statku w stanie uszkodzonym w czasie katastrofy.  
 Źródło: opracowanie własne.

Podstawą poprawnego funkcjonowania systemu oceny bezpieczeństwa statku w stanie uszkodzonym w czasie katastrofy jest:

- możliwość szybkiego modelowania sytuacji (modelowanie scenariuszy wypadku),
- możliwość szybkiego modelowania zachowania się statku, w tym jego pływalności, stateczności statku nieuszkodzonego, stateczności statku w stanie uszkodzonym i zachowania się statku uszkodzonego na fali.

Wynika to z faktu, że szybkie i efektywne podejmowanie decyzji w czasie katastrofy na morzu, ma bezpośredni wpływ na bezpieczeństwo ludzi, mienia i środowiska naturalnego. Proponuje się wprowadzenie priorytetów w ocenie ryzyka i zarządzania ryzykiem w czasie katastrofy na morzu.

## 6. WNIOSKI

Obecne prace badawcze związane są z dalszym rozwojem omówionej metody. Rozbudowywany jest całościowy model ryzyka oraz procedura zarządzania ryzykiem wypadku. Zamierzonym efektem badań jest opracowanie modelu obliczeniowego do szybkiej symulacji sytuacji na morzu w czasie katastrofy, który powinien umożliwiać ocenę zachowania się obiektu (statku) w stanie uszkodzonym i ocenę ryzyka na kolejnych etapach katastrofy.

Omawiane wyniki badań związane są z realizacją projektu badawczego własnego p.t. „Opracowanie modelu do analizy i oceny zachowania się statku w czasie katastrofy z wykorzystaniem modelu ryzyka nieprzetrwania kolizji przez statek”, finansowanego przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego (decyzja Nr 5703/B/T02/2010/39). Projekt ten jest realizowany na Politechnice Gdańskiej w latach 2010-2012, pod kierunkiem autora.

Metoda badań oparta jest na wcześniejszych pracach, związanych z opracowaniem "Kompleksowej metody oceny bezpieczeństwa statku w stanie uszkodzonym z uwzględnieniem analizy ryzyka" [3].

---

### Streszczenie

W pracy przedstawiono podstawowe elementy hybrydowego modelu do oceny bezpieczeństwa statków w stanie uszkodzonym. Model ma charakter hybrydowy z uwagi na fakt, że ukierunkowany jest na ocenę zachowania się statku z hydromechanicznego punktu widzenia, ocenę ryzyka wypadku i zarządzanie bezpieczeństwem. Zastosowano całościowe podejście do bezpieczeństwa. Szacowanie ryzyka oparte jest na ocenie zachowania się statku na podstawie jego charakterystyk hydromechanicznych w stanie uszkodzonym. Do oceny ryzyka można wykorzystać macierz ryzyka lub koncepcję ALARP. Miarą bezpieczeństwa statku jest poziom ryzyka. Przedstawiono podstawowe elementy procedury zarządzania bezpieczeństwem statku w stanie uszkodzonym, która stanowi integralną część modelu. Procedura oparta jest na szybkim modelowaniu sytuacji na morzu, zachowania się statku, oceny ryzyka i zarządzania ryzykiem.

Słowa kluczowe: bezpieczeństwo statku, ocena ryzyka, zarządzanie ryzykiem.

### Hybrid model for rapid assessment of ship safety during a catastrophe at sea

#### Abstract

The main components of the hybrid model for assessment of safety of ships in damaged conditions are presented in the paper. The model is of hybrid character is it is devoted towards assessing the ship behavior from the hydromechanics point of view, risk assessment and safety assessment. The holistic approach to safety has been applied. The risk estimation is based on assessment of the ship behavior based on its hydromechanics' characteristics in damaged conditions. For the risk assessment the risk matrix or ALARP concept may be used. The ship safety measure is the level of risk. The major elements of the procedure for the safety management of ships in damaged conditions which an integral part of the model is presented. The procedure is based on the rapid modeling of the situation at sea, ship behavior, risk assessment and risk management.

Key words: safety of ships, risk assessment, risk management.

## LITERATURA

- [1] Borysiewicz M., Furtek A., Potemski S.: Poradnik metod ocen ryzyka związanego z niebezpiecznymi instalacjami procesowymi, Instytut Energii Atomowej, Otwock–Świerk 2000.
- [2] Faltinsen O.M.: Sea loads on ships and offshore structures. Cambridge University Press, Cambridge 1990.
- [3] Gerigk M.: Kompleksowa metoda oceny bezpieczeństwa statku w stanie uszkodzonym z uwzględnieniem analizy ryzyka, Monografie 101, Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej, Gdańsk 2010.
- [4] Grabowski M., Merrick J.R.W., Harrald J.R., Mazzuchi T.A., Rene van Dorp J.: Risk modeling in distributed, large-scale systems, IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics - part A: Systems and Humans, Vol. 30, No. 6, November 2000.
- [5] IMO (International Maritime Organization): Report of the Maritime Safety Committee on Its Eightieth Session, MSC 80/24/Add.1, London, 2005.
- [6] IMO (International Maritime Organization): Resolution MSC.194(80) Annex 2, Adoption of Amendments to the International Convention for the Safety of Life at Sea, 1974, As Amended, adopted on 20.05.2005.
- [7] IMO (International Maritime Organization): Resolution MSC.216(82) Annex 2, Adoption of Amendments to the International Convention for the Safety of Life at Sea, 1974, As Amended, adopted on 08.12.2006.
- [8] IMO (International Maritime Organization): Stability and Seakeeping Characteristics of Damaged Passenger Ships in a Seaway When Returning to Port by Own Power or Under Tow, A survey of residual stability margin, Submitted by Germany, SLF 52/8/1, London, 26 October 2009.
- [9] Jasionowski A., Vassalos D.: Conceptualising Risk, Proceedings of the 9th International Conference on Stability of Ships and Ocean Vehicles STAB 2006, Rio de Janeiro, 25-29 September 2006.
- [10] Jędrzejczyk Z., Kukuła K., Skrzypek J., Walkosz A.: Badania operacyjne w przykładach i zadaniach, Wydawnictwo naukowe PWN, Warszawa 2004.
- [11] Kaliszewski I.: Wielokryterialne podejmowanie decyzji - obliczenia miękkie dla złożonych problemów decyzyjnych, Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa 2008.
- [12] Moan T.: Marine structures for the future. Centre for Offshore Research and Engineering, National University of Singapore, CORE Report No. 2003-01, Singapore 2003.
- [13] Pillay A., Wang J.: Technology and Safety of Marine Systems, Elsevier Ocean Engineering Book Series, Volume 7, Elsevier 2003.
- [14] Romanowski Cz., Witek Piotr.: Może być strasznie, Budownictwo Okrętowe, nr 3 (548), marzec 2005, pp. 27-31.
- [15] Romanowski Cz., Stareńczak P.B.: Co z tym Bałtykiem? Nasze Morze, nr 12 (24), grudzień 2007.
- [16] Sii H.S., Ruxton T., Wang J.: Novel risk assessment and decision support techniques for safety management systems, Journal of Marine Engineering and Technology, No. A1, 2002.
- [17] Skjong R., Vanem E., Rusas S., Olufsen O.: Holistic and Risk Based Approach to Collision Damage Stability of Passenger Ships, Proceedings of the 9<sup>th</sup> International Conference on Stability of Ships and Ocean Vehicles STAB 2006, Rio de Janeiro, 25-29 September 2006.
- [18] Vanem E., Skjong R.: Damage stability and Evacuation Performance Requirements of Passenger Ships, Proceedings of the 9<sup>th</sup> International Conference on Stability of Ships and Ocean Vehicles STAB 2006, Rio de Janeiro, 25-29 September 2006.
- [19] Vassalos D.: Safe return to port, Seminar for the 50<sup>th</sup> session of the IMO SLF Sub-Committee, London, May 2007.
- [20] [http://pl.wikipedia.org/wiki/Kategoria:Katastrofy\\_morskie](http://pl.wikipedia.org/wiki/Kategoria:Katastrofy_morskie).