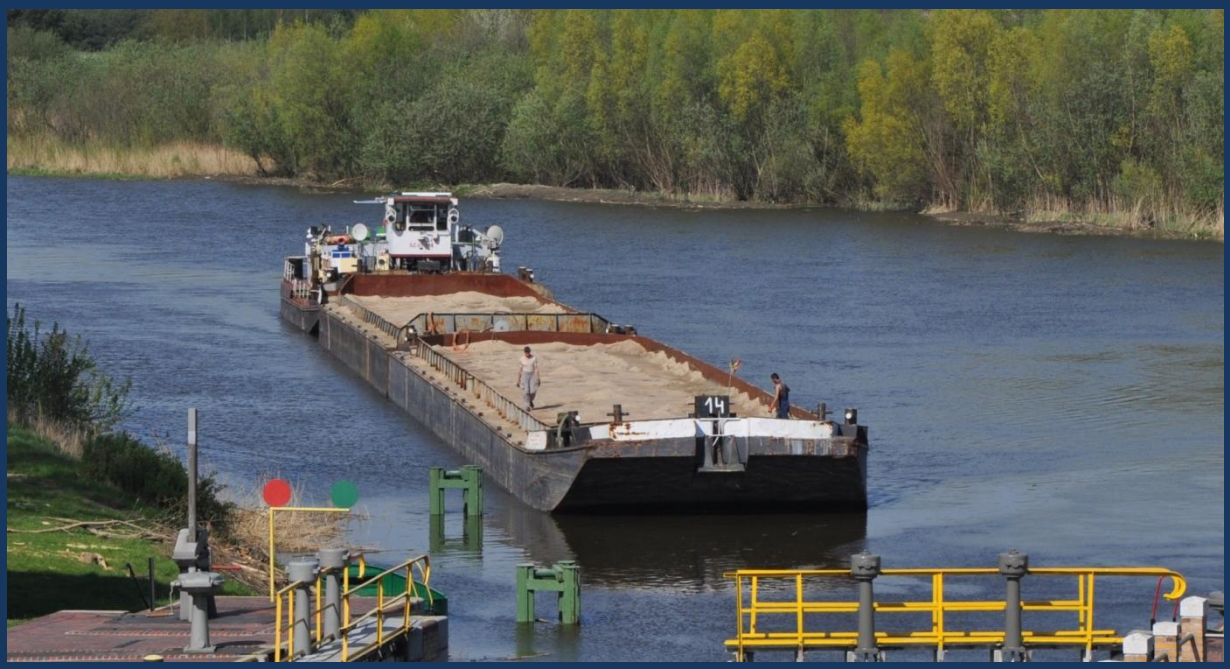
Patrycja Jerzyło

ZARZĄDZANIE BEZPIECZEŃSTWEM ŻEGLUGI

INŻYNIERIA TRANSPORTOWA



POLITECHNIKA GDAŃSKA

WYDZIAŁ INŻYNIERII LĄDOWEJ I ŚRODOWISKA

ISBN 978-83-60261-48-4

Gdańsk 2016

Inżynieria transportowa

Redakcja:

Katedra Inżynierii Drogowej

Wydział Inżynierii Lądowej i Środowiska

Politechnika Gdańska

Redakcja naukowa monografii:

dr hab. inż. Wojciech Ślączka, prof. nadzw. AM

Recenzent:

dr hab. inż. Adam Bolt, prof. nadzw. PG

Afiliacja:

Patrycja Jerzyło[1]

[1]Politechnika Gdańska, Wydział Inżynierii Lądowej i Środowiska, Katedra Geotechniki, Geologii i Budownictwa Morskiego

© Copyright by Wydział Inżynierii Lądowej i Środowiska, Politechnika Gdańska
ul. G. Narutowicza 11/12, 80-233 Gdańsk, Polska

Redaktor prowadzący serii INŻYNIERIA TRANSPORTOWA:
dr hab. inż. Joanna Żukowska

WYDANIE I
Monografia / Praca Naukowa: recenzowana w ramach procedury wydawniczej.

ISBN 978-83-60261-48-4

Gdańsk 2016

Spis treści

Wykaz ważniejszych skrótów 4

Wykaz ważniejszych terminów 5

1. WSTĘP 6

1.1 Cel opracowania 7

1.2 Zakres stosowania 7

2. Metody analizy ryzyka 9

2.1 Analiza Zagrożeń i Zdolności Działań Technika 10

2.2 Analiza Drzewa Błędów 13

2.3 Analiza Drzewa Zdarzeń 18

2.4 Analiza rodzajów i skutków uszkodzeń 21

2.5 Niezawodność człowieka – operatora 24

2.5.1 Analiza Niezawodności Ludzkiej 24

2.5.2 Technika przewidywania wielkości ludzkiego błędu 27

3. Zarządzanie bezpieczeństwem żeglugi 30

3.1 Zalecenia Międzynarodowej Organizacji Morskiej 33

3.2 Identyfikacja zagrożeń 35

3.3 Szacowanie ryzyka 37

3.4 Opcje kontroli ryzyka 43

3.4.1 Metody analizy skutków 45

3.5 Analiza efektywności ekonomicznej 47

3.6 Zalecenia eksploatacyjne 51

4. Narzędzia stosowane do zarządzania ryzykiem 52

4.1 Przykład zastosowania formalnej metodologii oceny bezpieczeństwa żeglugi do oceny systemu zarządzania bezpieczeństwem morskim dla Zatoki Pomorskiej 55

5. Zastosowanie formalnej metodologii oceny bezpieczeństwa żeglugi do oceny systemu bezpieczeństwa żeglugi śródlądowej na Dolnej Wiśle 70

5.1 Poligon badawczy 70

5.1.1 Tworzenie baz danych 73

5.2 Identyfikacja zagrożeń 82
5.3 Szacowanie ryzyka 83
5.4 Opcje kontroli ryzyka 85
5.5 Analiza efektywności ekonomicznej 89
5.6 Rekomendacje do podejmowania decyzji 90
Zakończenie 90
Literatura 91
Spis rysunków 94

Wykaz ważniejszych skrótów

ALARP	*As Low As Resonably Practicable*	Akceptowalny Poziom Ryzyka
CBA	*Cost – Benefit Analisys*	Szacowanie Kosztów i Korzyści
CEA	*Cost Effective Analysis*	Analiza Oszczędności
DALY	*Disability Adjusted Life Years*	Poprawa Ułomności Życia
ET	*Event Tree*	Drzewo Zdarzeń
ETA	*Event Tree Analysis*	Analiza Drzewa Zdarzeń
FMEA	*Failure Mode and Effect Analysis*	Analiza rodzajów i skutków uszkodzeń
FSA	*Formal Safety Assessment*	Formalna Ocena Bezpieczeństwa
FT	*Fault Tree*	Drzewo Błędów
FTA	*Fault Tree Analysis*	Analiza Drzewa Błędów
HAZID	*Hazard Identification*	Identyfikacja Zagrożenia
HAZOP	*Hazard and Operability Studies*	Analiza Zagrożeń i Zdolności Działań
HRA	*Human Reliability Analysis*	Analiza Niezawodności Ludzkiej
GrossCAF	*Gross Cost of Averting a Fatality*	Koszty Brutto Zapobiegania Skutkom Śmiertelnym
ICAF	*Implied Cost of Averting a Fatality*	Ukryte Koszty Zapobiegania Skutkom Śmiertelnym
IMO	*International Maritime Organization*	Międzynarodowa Organizacja Morska
LQI	*Life Quality Index*	Wskaźnik Jakości Życia
NetCAF	*Net Cost of Averting a Fatality*	Koszty Netto Zapobiegania Skutkom Śmiertelnym
PHA	*Preliminary Hazard Analysis*	Wstępna Analiza Zagrożeń
PLL	*Potential Loss of Life*	Potencjalne Ryzyko Utraty Życia
QALY	*Quality Adjusted Life Years*	Porawa Jakości Życia
QRA	*Q*uantitative *Risk Assessment*	Metody Ilościowe Oceny Ryzyka
RCM	*Risk Control Measure*	Sposób Sterowania Ryzykiem
RCO	*Risk Control Option*	Opcje Kontroli Ryzyka
RCT	*Risk Contribution Tree*	Drzewo Rozkładu Ryzyka
RID	*Regulatory Impact Diagram*	Diagram Czynników Wpływu
THERP	*Technique for Human Error Rate Prediction*	Technika przewidywania wielkości ludzkiego błędu

Wykaz ważniejszych terminów

Analiza ryzyka – postępowanie polegające na ilościowym lub jakościowym określeniu ryzyka według przyjętej miary.

Częstość – *Frequency* – liczba wydarzeń w jednostce czasu, np. w roku.

Incydent – zdarzenie niepowodujące strat lub powodujące nieznaczące straty, mogące stanowić przesłankę do powstania wypadku.

Kategoria wypadku – *Accident Category* – określenie wypadku w tablicach statystycznych zgodnie z jego naturą, np. pożar, kolizja, wejście na mieliznę itp.

Kryteria Oceny Ryzyka – *Risk Evaluation Criteria* – kryteria wykorzystywane do oceny akceptowanego/tolerowanego ryzyka.

Model Ogólny – *Generic Model* – wyznaczenie funkcji wspólnych dla wszystkich statków i obszarów ujętych w modelu ogólnym.

Opcje Kontroli Ryzyka – *Risk Control Option* – kombinacja sposobów sterowania ryzykiem.

Ryzyko – *Risk* – kombinacja częstotliwości i ciężkości konsekwencji.

Ryzyko akceptowalne – ryzyko, które jest tolerowalne, tj. uznawane przez większość społeczeństwa za nieznaczące lub nieuzasadnione do dalszej redukcji.

Scenariusz wypadku – *Accident Scenario* – sekwencja zdarzeń od pierwszego inicjującego etapu do ostatniego.

Skutki wypadku – straty (ludzkie, materialne, ekologiczne) powstałe w wyniku wypadku.

Sposób Sterowania Ryzykiem –*Risk Control Measure* – sposób sterowania pojedynczym elementem ryzyka.

Szacowanie (ocena) ryzyka – procedura porównania wartości ryzyka z wielkościami kryterialnymi.

Wypadek – *Accident* – niezamierzone zdarzenie pociągające za sobą zgony, obrażenia ciała, stratę statku lub jego uszkodzenie, utratę i uszkodzenie innej własności lub uszkodzenie środowiska naturalnego.

Zagrożenie – *Hazard* – potencjał zagrażający życiu lub zdrowiu ludzkiemu, własności lub środowisku naturalnemu.

Zarządzanie ryzykiem – postępowanie przeprowadzane w celu określenia ryzy ka, jego wartościowania oraz podejmowania decyzji o sposobach jego zmiany.

Zdarzenie Inicjujące – *Initiating Event* – pierwsze zdarzenie w sekwencji zdarzeń prowadzących do wypadku.

1. WSTĘP

Życie człowieka od wieków związane jest z morzem. Czerpiemy z jego flory, fauny i surowców mineralnych ukrytych w jego dnie. Jedną z form eksploatacji morza jest transport drogą morską.

Każda jednostka pływająca stanowi zagrożenie dla środowiska morskiego, jak również środowisko stanowi zagrożenie dla jednostki. Statek podczas podróży napotyka na różne warunki pogodowe, które mają mniejsze lub większe znaczenie dla jego bezpieczeństwa.

Dzisiaj korzystanie z zasobów rzecznych jako warsztatu pracy wiązać się musi głównie z potrzebą kompleksowej ochrony środowiska przyrodniczego, kulturowego i historycznego dziedzictwa obszarów nadrzecznych.

Kilka tysięcy lat trwała żegluga, w której dominowała nieznajomość geografii, brak umiejętności i wiedzy nawigacyjnej czy wiedzy o konstrukcji statków opartej wyłącznie o intuicję budowniczych. Obecnie mimo rozwoju systemów bezpieczeństwa, nawigacji, doskonalenia kadry zawodowej, statki nadal ulegają wypadkom żeglugowym.

Żegluga morska różni się znacząco od innych gałęzi transportu. Działa w uwarunkowaniach międzynarodowych oraz w silnie nieprzewidywalnym środowisku morskim. Znaczącym utrudnieniem w zapewnieniu bezpieczeństwa żeglugi jest to, że właściciele statków (armatorzy), zarządzający nimi, właściciele ładunku i zatrudniający załogi to zwykle zupełnie rożne podmioty, często zlokalizowane w różnych krajach. Katastrofy statków, wprawdzie bardzo rzadkie, należą do największych z uwagi na wielkość jednostek.

Na zaistnienie morskiej katastrofy, której ofiarami mogą być ludzie, składa się wiele czynników, takich jak: stan techniczny statku, właściwe zarządzanie jego eksploatacją, odpowiednie kwalifikacje załogi oraz warunki hydro-meteorologiczne.

Dla podniesienia standardów bezpieczeństwa wiele państw prowadzi rejestr wypadków morskich. Dane zebrane w takim rejestrze służą do przeprowadzania badań, które uwzględniają szczegółową analizę ryzyka służące do oceny bezpieczeństwa żeglugi.

Formalna Ocena Bezpieczeństwa (FSA) jest systematyczną metodologią, dążącą do zwiększenia bezpieczeństwa morskiego. Szczególnie zwraca uwagę na ochronę życia, zdrowia, środowiska morskiego i mienia, wykorzystując analizę ryzyka i ocenę kosztów bezpieczeństwa.

Celami FSA jest wspieranie procesu zarządzania bezpieczeństwem, standaryzacji bezpieczeństwa oraz ustalanie polityki działań na rzecz bezpieczeństwa. Metodologia ma charakter ogólny i może być wykorzystana jako narzędzie wspomagające podejmowanie

decyzji w zakresie tworzenia nowych regulacji prawnych, projektowania, klasyfikacji, budowy i eksploatacji statków. Metoda nadaje się do analizy pojedynczego statku lub typu statków, akwenów itp., np.: tankowców, zatok, rzek, portów.

Przedstawiona w opracowaniu koncepcja wytycznych zarządzania ryzykiem morskim może być traktowana jako zalecenia do wspomagania decyzji z uwzględnieniem ryzyka w wybranych dziedzinach bezpieczeństwa transportu śródlądowego.

1.1 Cel opracowania

Opracowanie i wprowadzenie wytycznych ma na celu zwiększenie bezpieczeństwa w żegludze śródlądowej poprzez dostarczanie podejmującym decyzje związane z transportem narzędzi w postaci metod zarządzania ryzykiem. Celem bezpośrednim opracowania było podjęcie pierwszej kompleksowej próby ujednolicenia procedur oraz metod szacowania i zarządzania ryzykiem w transporcie śródlądowym. Zastosowanie takiego ujednolicenia doprowadzi do tego, że analizy ryzyka przeprowadzone według wytycznych będą porównywalne między sobą.

1.2 Zakres stosowania

Wytyczne sporządzono dla wspomagania analiz bezpieczeństwa żeglugi śródlądowej poprzez zarządzanie ryzykiem, gdy istnieją zagrożenia:

- nawigacyjne (wejścia na mieliznę, kolizje, zderzenia),
- awarią systemów technicznych (awaria urządzeń sterujących, napędowych),
- wynikające z oddziaływania infrastruktury.

Przedstawiona w wytycznych procedura zarządzania ryzykiem powinna być stosowana szczególnie w przypadku oceny bezpieczeństwa nowopowstających systemów (np. nawigacyjnych, regulacji ruchu, technicznych itp.) i obiektów infrastruktury (budowli hydrotechnicznych, nabrzeży, dróg wodnych itp.).

Proponuje się stosować wytyczne również do oceny bezpieczeństwa systemów istniejących, w przypadku gdy występuje zagrożenie życia lub ciężkiego kalectwa ludzi, oraz gdy możliwe jest powstanie znacznych strat. Przykładowymi płaszczyznami dla wytycznych w systemach istniejących może być ich zastosowanie do:

- kompleksowego zarządzania ryzykiem na wodach śródlądowych,
- oceny bezpieczeństwa w trakcie projektowania i realizacji nowych elementów infrastruktury nawigacyjnej (porty, nabrzeża, baseny, obrotnice),

- oceny wpływu zmian tras żeglugowych i wprowadzania nowych elementów ich regulacji na bezpieczeństwo,
- oceny proponowanych nowych regulacji prawnych mających wpływ na bezpieczeństwo żeglugi,
- oceny proponowanych znaczących zmian w oznakowaniu nawigacyjnym mających wpływ na bezpieczeństwo żeglugi,
- oceny projektów wprowadzania nowych systemów nawigacyjnych,
- oceny projektów wprowadzania nowych typów statków na istniejące trasy.

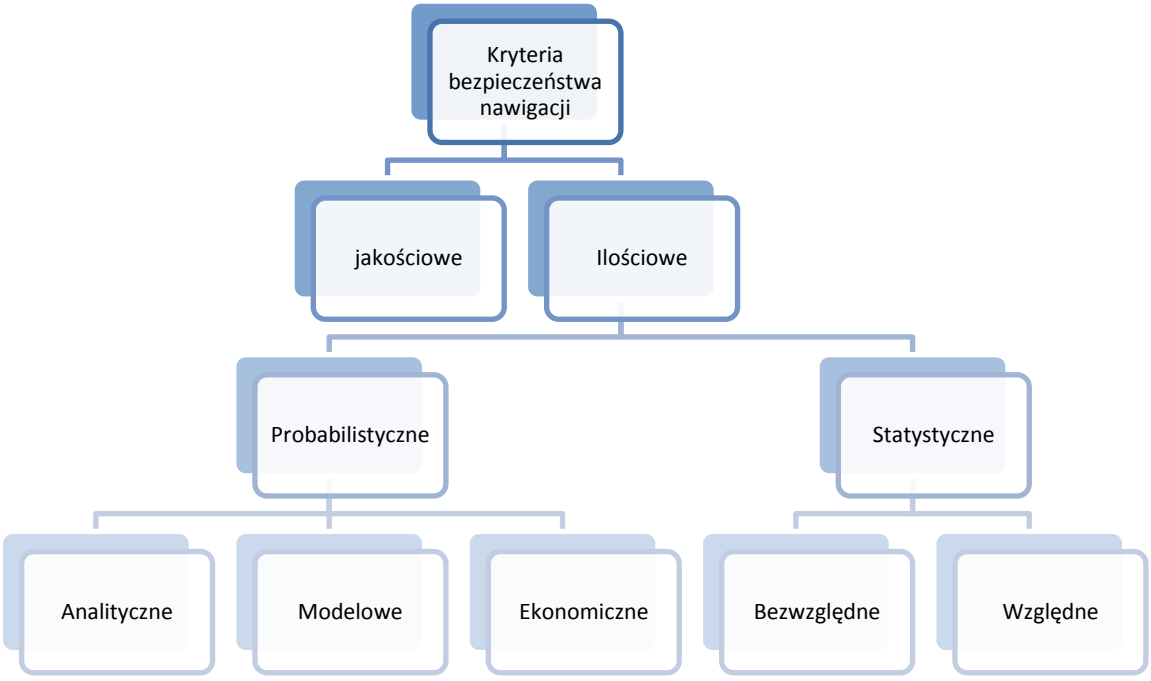
Opracowanie nie dotyczy problematyki bezpieczeństwa pracy na statkach.

2. Metody analizy ryzyka

Analiza ryzyka jest prowadzona w celu określenia prawdopodobieństwa i skutków wypadku. Może być przeprowadzana metodami:

- jakościowymi,
- ilościowymi,
- mieszanymi.

Do zarządzania ryzykiem na obszarach morskich zaleca się metody ilościowe wówczas, gdy posiadane dane wejściowe pozwalają na ich użycie. Metody jakościowe umożliwiają z kolei przeprowadzenie oceny ryzyka, tj. porównanie ryzyka istniejącego z wartościami kryterialnymi, które z reguły podawane są za pomocą miar ilościowych [Gucma L.2009].



Rys. 1 Kryteria oceny bezpieczeństwa nawigacji [Gucma L., 2009]

Analiza ryzyka określa i szacuje prawdopodobieństwo i skutki potencjalnych zagrożeń w badanym systemie technicznym wynikające z eksploatacji tego systemu. Badanie takie wykonuje się na podstawie dokumentacji technicznej zgodnej ze schematem wybranej techniki identyfikacji zagrożeń. Zawiera w sobie identyfikację, opis i ocenę ryzyka oraz stanowi podstawę do oceny zgodności poziomu ryzyka z przyjętymi kryteriami.

Analiza ryzyka jest procesem składającym się z następujących etapów:

- szacowanie ryzyka:

- identyfikacja zagrożeń,
- określenie elementów systemu podatnych na zagrożenia,
- określenie prawdopodobieństwa wystąpienia skutków zagrożeń.

– ocena akceptowalności ryzyka:
- określenie stopnia szkodliwości skutków zagrożenia,
- oszacowanie kosztów zabezpieczeń,
- wykonanie analizy strat i zysków.

Najczęściej stosowanymi technikami służącymi do oszacowania ryzyka są: HAZOP, FTA, ETA, FMEA i niezawodność człowieka – operatora.

2.1 Analiza Zagrożeń i Zdolności Działań Technika

W metodzie analizy zagrożeń i zdolności działania – HAZOP udział biorą zespoły ekspertów pod kierownictwem lidera. Metoda HAZOP wykonywana jest przy pomocy listy słów kluczowych. Stosuje się ją przede wszystkim w analizie bezpieczeństwa dużych systemów przemysłowych.

HAZOP jest jedną z najbardziej ogólnych metod analitycznych stosowanych do określania możliwości wystąpienia zagrożeń. Można ją stosować na każdym etapie konstruowania czy eksploatacji technologii. Generuje głównie rezultaty jakościowe.

Technika HAZOP [Borysiewicz M., Furtek A., Potempski S., 2000] jest to metoda, która polega na systematycznym przeglądzie założeń projektowych i procesu technologicznego pod kątem odchyleń od przyjętych parametrów. Służy ona głównie do określenia prawdopodobnych zdarzeń niebezpiecznych (zagrażających zdrowiu i życiu ludzkiemu, środowisku naturalnemu, powodujących uszkodzenia urządzeń technicznych) i problemów technologicznych (powodujących obniżenie efektywności procesu czy spadek produkcji).

Proces HAZOP prowadzony jest w formie dyskusji z udziałem zespołu inżynierów, technologów, projektantów, specjalistów urządzeń kontrolno – pomiarowych oraz innych osób znających analizowany proces. Sesja ma charakter „burzy mózgów” kierowanej przez przewodniczącego zespołu mającego doświadczenie w zakresie metod określania zagrożeń. Metoda ta stymuluje aktywność członków zespołu i pomaga w tworzeniu pomysłów, opiera się ona na założeniu, że wysiłek grupowy jest efektywniejszy niż wysiłek poszczególnych członków. Za pomocą zestawu słów przewodnich (tab. 1), zespół systematycznie analizuje poszczególne elementy procesu technologicznego.

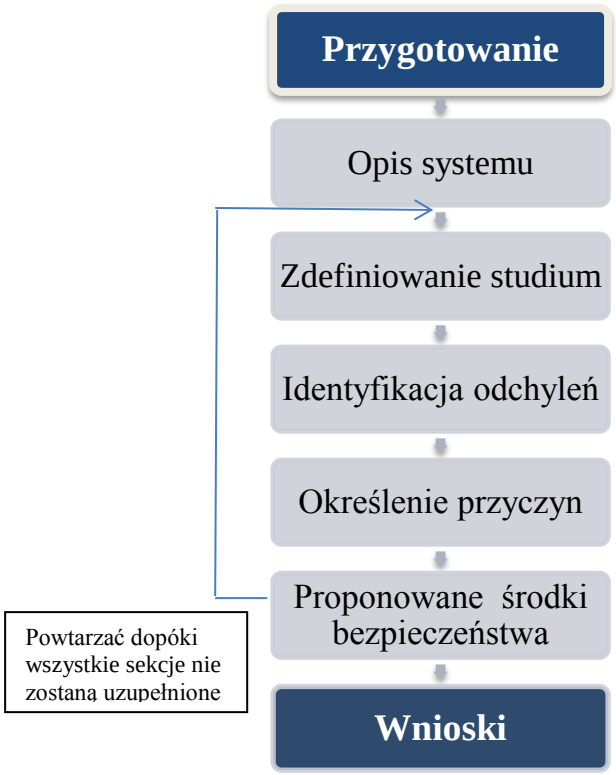
Tabela 1 Słowa przewodnie wykorzystywane w technice HAZOP

NO or NOT	Nie
MORE	Więcej
LESS	Mniej
AS WELL AS	Jak również
PART OF	Część z
REVERSE	Odwrotnie, w przeciwnym kierunku
OTHER THAN	Inaczej niż
EARLY	(za) wcześnie, wcześniej
LATE	(za) późno
BEFORE	Przed
AFTER	Po

Odchylenia od zamierzeń projektowych są generowane przez zastosowanie słów przewodnich w opisie parametrów we wszystkich elementach procesu. Dla każdego odchylenia, zespół identyfikuje wszystkie wiarygodne przyczyny i znaczące skutki zdarzeń będących ich efektem. Wyniki analizy zawierają opis zagrożeń i problemów związanych z ciągłością pracy oraz zalecenia dotyczące możliwych do przeprowadzenia zmian w projekcie, procedurach itp. Służących poprawieniu stanu bezpieczeństwa jak również zalecenia przeprowadzenia dyskusji uzupełniającej. Na rysunku 2 przedstawiono ciąg postępowania w procedurze HAZOP.

Formularz analityczny w technice HAZOP składa się z kilku zasadniczych elementów:

- słowo przewodnie – określenie potencjalnych odchyleń od założeń projektowych,
- odchylenia – zmiany w prawidłowo działającym systemie,
- przyczyny – realne przyczyny zaistniałych odchyleń ustalone w trakcie „burzy mózgów”,
- skutki – konsekwencje błędnego funkcjonowania systemu,
- środki bezpieczeństwa – sposoby zapobiegania odchyleniom,
- zalecenia – propozycje mające na celu poprawienie bezpieczeństwa.



Rys. 2 Algorytm postępowania w procedurze HAZOP [Kristiansen S., 2005]

Koncepcje zmiany projektu, a także eliminacje zagrożeń, należy opracować po analizie, jako wynik przeprowadzonych prac. Końcową czynnością po zakończeniu sesji zespołowych powinno być opracowanie i wydanie raportu dokumentującego przebieg prac i sposoby realizacji zaleceń. W tabeli 2 przedstawiono przykładowy arkusz pracy stosowany w metodzie HAZOP.

Tabela 2 Przykładowy arkusz pracy w analizie HAZOP

[Borysiewicz M., Furtek A., Potempski S., 2000],[Brandowski A., 2002],[Młyńczak M., 1997]

HAZOP							**Projekt:** **Obiekt:** **Strona: z Data:**	
L.p.	**Słowo przewodnie**	**Odchylenia**	**L.p.**	**Przyczyny**	**L.p.**	**Skutki**	**Środki bezpieczeństwa**	**Zalecenia**
1.	Urządzenie napędowe	Utrata napędu	1.	Uszkodzenie pędnika	1.	Uszkodzenie silnika	Częste kontrole	Zainstalowanie czujników
			2.	Uszkodzenie systemu paliwowego	2.	Zatrzymanie silnika	Częste kontrole paliwa	Zainstalowanie filtrów

Metoda ma charakter półformalnej procedury inspekcji dokumentacji systemu, mającej na celu identyfikację odstępstw od założonego działania i oceny ich wpływu na bezpieczeństwo. Wady i zalety metody HAZOP przedstawiono w tabeli 3 [Borysiewicz M., Furtek A., Potempski S., 2000].

Tabela 3 Wady i zalety systemu HAZOP

ZALETY	WADY
Najbardziej efektywna ze znanych metod analiz.	Znaczny nakład pracy proporcjonalny do stopnia złożoności systemu i poziomu dokładności analiz
Pełen zakres identyfikowanych zagrożeń.	
Zapewnia informacje zarówno o zagrożeniach jak i o problemach związanych z ciągłością pracy instalacji.	

Podsumowując powyższą tabele, w tej metodzie jest więcej zalet niż wad. Pozwala ona na pełną identyfikację potencjalnych zagrożeń. Podczas dyskusji omawiane są przyczyny, skutki i sposoby zabezpieczania przed możliwymi, zdefiniowanymi błędami. Jest to jedna z najbardziej efektywnych metod analitycznych. Jedyna wadą tego systemu jest duży nakład pracy, proporcjonalny do poziomu złożoności systemu.

2.2 Analiza Drzewa Błędów

Drzewo błędów jest graficznym modelem logicznych zależności przyczynowo - skutkowych występujących w rozpatrywanym problemie. Przy budowie drzewa błędów zakłada się, że określony skutek jest wynikiem pewnego ciągu zdarzeń. Drzewo błędów rozpoczyna się zatem pewnym zdarzeniem inicjującym i przedstawia wszystkie możliwe ciągi zdarzeń będące następstwami zdarzenia inicjującego. W różnych miejscach drzewa błędów znajdują się punkty rozgałęzień ilustrujące fakt, że po pewnych zdarzeniach istnieje możliwość wystąpienia różnych innych zdarzeń. Prawdopodobieństwo określonego skutku otrzymuje się mnożąc przez siebie prawdopodobieństwa wszystkich zdarzeń składających się na ścieżkę w drzewie, po której dochodzimy do rozważanego skutku. Celem tworzenia drzewa błędów w analizach oceny ryzyka jest:

- oszacowanie częstości zdarzeń awaryjnych i parametrów systemów nie-zawodnościowych,
- wyznaczenie kombinacji zdarzeń elementarnych, takich jak uszkodzenia sprzętu, błędów obsługi czy też zdarzeń zewnętrznych, wynikających ze środowiska pracy,

zasad eksploatacji, lokalizacji wybranych systemów lub naturalnych zjawisk przyrodniczych, które przyczyniają się do zaistnienia określonych stanów niesprawności systemów,

- identyfikacja i ocena skuteczności rozwiązań technicznych i proceduralnych wprowadzanych w celu zwiększenia niezawodności systemów w wypełnianiu określonych zadań funkcjonalnych,
- stany eksploatacyjne systemów: normalna eksploatacja, konserwacja, stany awaryjne, procedury rozruchu i odstawienia,
- badanie wpływu czynnika ludzkiego tj.: konserwacje, obsługa operator-ska, interfejs człowiek–maszyna.

Analiza Drzewa Błędów jest jedną z częściej stosowanych metod analiz niezawodności systemów. Czasami służy ona również do identyfikacji i oceny prawdopodobieństwa zdarzeń początkujących. Opiera się na graficznej budowie FT. Rozpoczyna się ono określonym skutkiem i rozwija w kierunku zdarzeń poprzedzających, pokazując wszystkie możliwe kombinacje zdarzeń niepożądanych, które mogły doprowadzić do wyspecyfikowanego skutku.

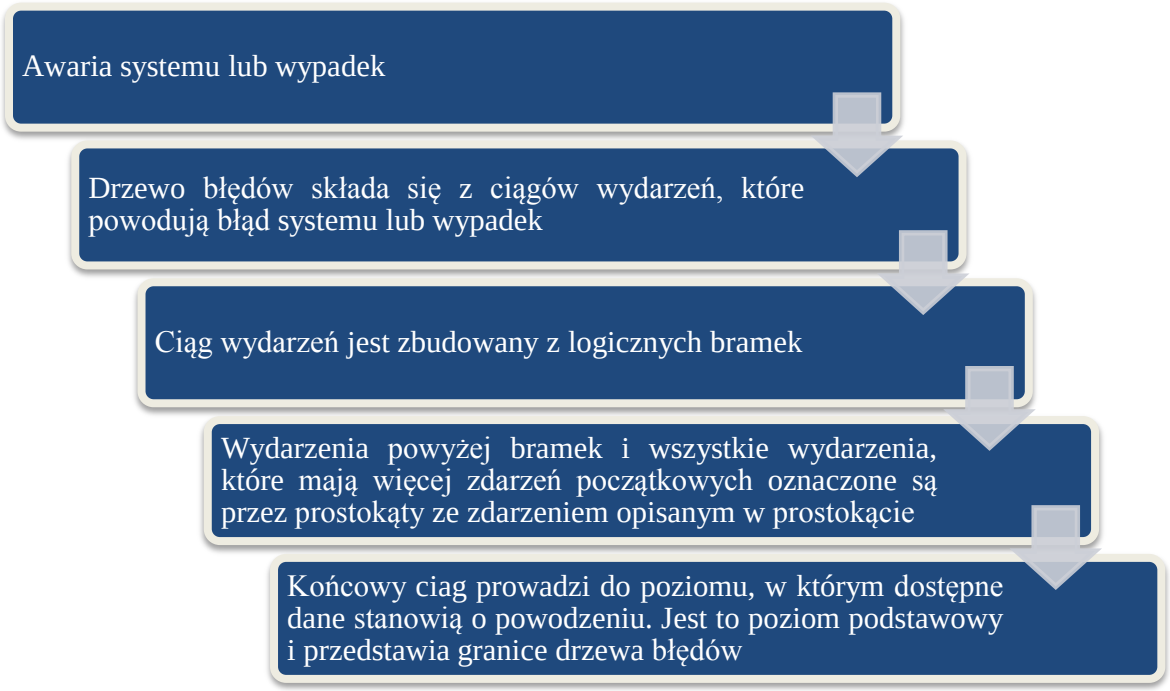
Metoda FTA polega na określeniu powiązań logicznych (przy pomocy modelu graficznego, używającego symboli logiki Boole'a), pomiędzy przyczynami (zdarzeniami elementarnymi), a skutkami (określonymi stanami odbiegającymi od przyjętych kryteriów). Korzysta z informacji opisujących prawdopodobieństwo awarii dowolnego elementu wchodzącego w skład instalacji i wpływającego na jej funkcjonowanie.

Technika FTA służy do oceny prawdopodobnej częstotliwości występowania wydarzeń niepożądanych w systemach składających się z wielu elementów o dającej się określić niezawodności. Polega na [Borysiewicz M., Furtek A., Potempski S., 2000]:

- zdefiniowaniu zdarzenia szczytowego (zdarzenia początkowego),
- ustaleniu hierarchicznej struktury drzewa uszkodzeń (zdarzenia pośrednie),
- skonstruowaniu drzewa uszkodzeń, polegającego na powiązaniu zdarzeń logicznymi bramkami wyboru,
- określeniu zdarzeń podstawowych wiodących do zdarzenia szczytowego,
- określeniu prawdopodobieństwa zajścia zdarzeń początkowych,
- wyznaczeniu „minimalnych przekrojów drzewa" tj. minimalnych zbiorów zdarzeń elementarnych prowadzących do zdarzenia szczytowego,
- obliczeniu prawdopodobieństwa zajścia zdarzenia szczytowego,
- analizie wyników pod kątem wyznaczenia dominujących zdarzeń elementarnych,

- analizie czułości polegającej na sprawdzeniu jak zmiana prawdopodobieństwa uszkodzenia jednego elementu ze zbioru przekrojów minimalnych wpływa na prawdopodobieństwa wystąpienia zdarzenia szczytowego.

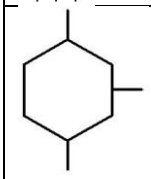
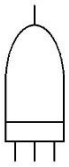
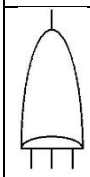
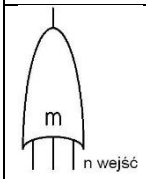
Konstrukcja drzewa błędów zaczyna się od uszkodzenia czy niepożądanego zdarzenia, a następnie polega na zagłębianiu się we wszystkie możliwe kombinacje zdarzeń, które mogą doprowadzić do poszczególnej awarii (rys. 2). Nazwa metody związana jest z jej postacią graficzną: stan awaryjny – zdarzenie szczytowe połączone jest „gałęziami" wraz z odpowiednimi logicznymi bramkami wyboru ze zdarzeniami pośrednimi i elementarnymi nie mającymi dalszego rozwinięcia.



Rys. 3 Algorytm tworzenia drzewa błędów [Kristiansen S., 2005]

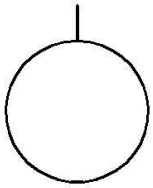
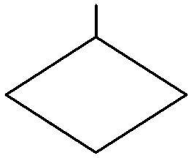
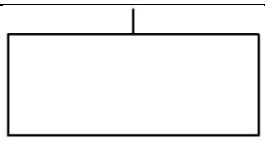
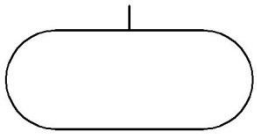
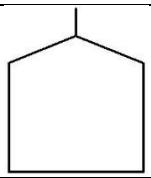
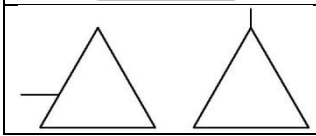
Celem metody jest identyfikacja przyczyn powodujących wystąpienie awarii, określenie częstości wystąpienia stanów niebezpiecznych i identyfikacja krytycznych elementów systemu. Podstawowymi elementami FT są bramki i zdarzenia. Bramki przedstawiono w tabeli 4.

Tabela 4 Wykaz symboli bramek wykorzystywanych w FT [Kristiansen S., 2005]

Symbol bramki	**Nazwa bramki**	**Znaczenie symbolu**
	AND	Zdarzenie wyjściowe następuje, jeśli wszystkie zdarzenia wejściowe występują jednocześnie
	OR	Zdarzenie wyjściowe następuje, jeśli następuje, chociaż jedno zdarzenie wejściowe
	Inhibit gate	Wejściowy produkt wyjściowego następuje po zdarzeniu warunkowym
	Priority AND gate	Pierwszeństwo koniunkcji zdarzeń z lewej do prawej
	Exclusive OR gate	Zdarzenie wyjściowe następuje, jeśli następuje jedno (nie więcej niż jedno) zdarzenie wejściowe
	m out of n gate	Zdarzenie wyjściowe następuje, jeśli m wyjść z n wejść zdarzeń następuje.

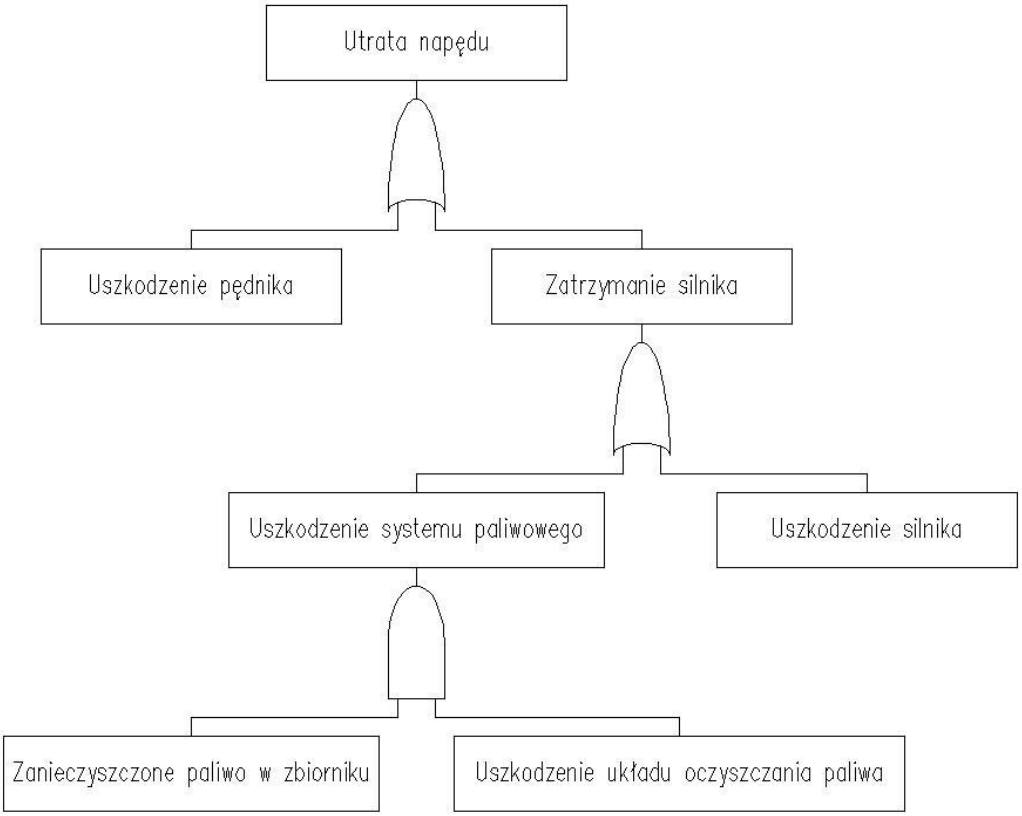
Symbole zdarzeń występujące w FT zaprezentowano w tabeli 5.

Tabela 5 Wykaz symboli zdarzeń wykorzystywanych w FT [Kristiansen S., 2005]

Symbol zdarzenia	Znaczenie symbolu
	Podstawowe zdarzenie z wystarczającą ilością danych
	Zdarzenie nierozwinięte
	Zdarzenie reprezentowane przez branki
	Zdarzenie warunkowe, użyte wraz z bramką warunkową
	Zdarzenie dom. Następujące którekolwiek albo nie następujące
	Symbol transferu

Technika FTA ma zastosowanie w analizie ryzyka i niezawodności. Przedstawia związek między zdarzeniami szczytowymi, a zdarzeniami bazowymi, (które uważa się za przyczyny awarii systemu). Metoda analizuje system techniczny, środowisko, zdarzenia naturalne, błędy człowieka oraz błędy organizacyjne.

Budowa drzewa błędów polega na wykorzystaniu bramek łączących zdarzenia relacjami logicznymi. Budowa FT zaczyna się od znalezienia wydarzenia szczytowego i analizie przyczynowej warunków wystąpienia tego zdarzenia. Najniższy poziom analizy dotyczy zdarzeń podstawowych (zdarzeń pierwotnych), dla których nie ma potrzeby szukania przyczyn ich powstania (rys. 3).



Rys. 4 Drzewo błędów dla awarii technicznej statku

Drzewo błędów pokazuje w jasny i czytelny sposób, co zostało zrobione źle, czego nie dopilnowano lub czego zbrakło w celu uniknięcia wypadku.

2.3 Analiza Drzewa Zdarzeń

Analiza drzewa zdarzeń jest graficznym modelem zależności przyczynowo – skutkowych występujących w rozpatrywanym problemie. Przy budowie drzewa zdarzeń zakłada się, że określony skutek jest wynikiem ciągu zdarzeń. ET rozpoczyna się zdarzeniem inicjującym i przedstawia wszystkie możliwe ciągi zdarzeń będące następstwami zdarzenia inicjującego. W różnych miejscach drzewa zdarzeń znajdują się punkty rozgałęzień ilustrujące fakt, że po pewnych zdarzeniach istnieje możliwość wystąpienia różnych innych zdarzeń. Prawdopodobieństwo określonego skutku otrzymuje się mnożąc przez siebie prawdopodobieństwa wszystkich zdarzeń składających się na ścieżkę w drzewie, po której dochodzimy do rozważanego skutku.

Drzewo zdarzeń wykorzystuje się zarówno do analizy jakościowej (opartej o wnioskowanie matematyczne – pozwala wypowiadać się o zależnościach przyczynowo – skutkowych), jak i ilościowej (pozwalającej określić prawdopodobieństwo awarii oraz jej przyczyn).

Ten typ analizy może przedstawiać jakościowy opis potencjalnych problemów, a także szacunek ilościowy częstotliwości lub prawdopodobieństwa zdarzeń. Drzewo zdarzeń pokazuje, w jaki sposób podstawowe składowe niepowodzenia mogą prowadzić do uszkodzenia całego systemu.

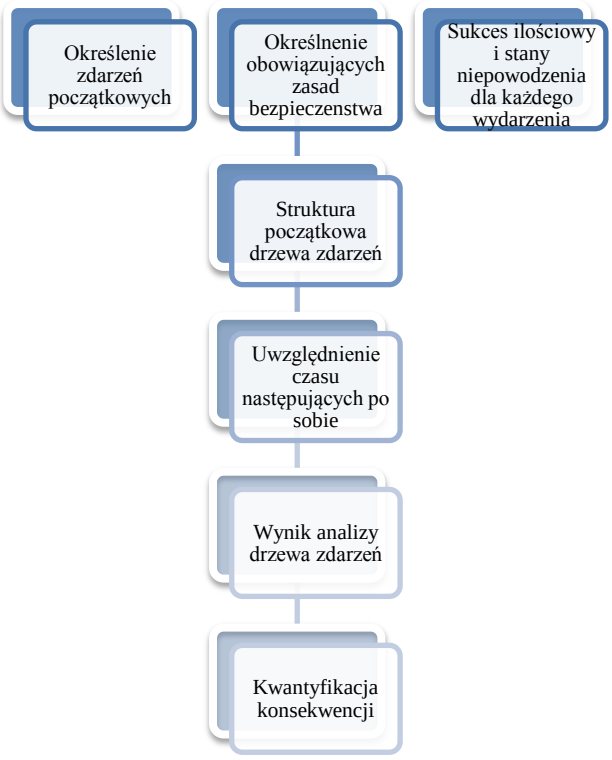
Analiza drzewa zdarzeń [Borysiewicz M., Furtek A., Potempski S., 2000] rozpatruje drogę od zdarzenia początkującego do końcowego ze szczególnym uwzględnieniem momentów mających decydujące znaczenie na stan obiektu. W odróżnieniu od analiz FTA, które mają naturę dedukcyjną, analiza ETA ma charakter indukcyjny.

W wielu sytuacjach pojedyncze zdarzenie może prowadzić do wielu różnorodnych następstw w zależności od sprawności lub niesprawności elementów/ systemów/ działań operatorskich, przewidzianych do opanowania tego zdarzenia. Kombinacja zdarzenia początkującego i sprawności/ niesprawności definiuje poszczególne ciągi zdarzeń awaryjnych. ETA jest podstawową metodą tworzenia probabilistycznego modelu obiektu do analiz zagrożenia. Wyróżnia się dwie formy ETA: przed wypadkowa i powypadkowa. Przed wypadkowa może służyć do ustalenia zbiorów zdarzeń początkujących i oceny prawdopodobieństwa ich zajścia. Powypadkowa – do analizy zaistniałej awarii i identyfikacji niedoskonałości funkcjonalnej systemów bezpieczeństwa.

Procedura analiz ETA składa się z sześciu głównych etapów:

- identyfikacji zdarzenia inicjującego, które może doprowadzić do założonej awarii,
- identyfikacji funkcji bezpieczeństwa, przewidzianych do łagodzenia skutków zdarzenia inicjującego,
- konstrukcji drzewa zdarzeń,
- opisu wynikających z konstrukcji drzewa sekwencji awaryjnych,
- wyznaczenia minimalnych przekrojów drzewa,
- opracowania dokumentacji.

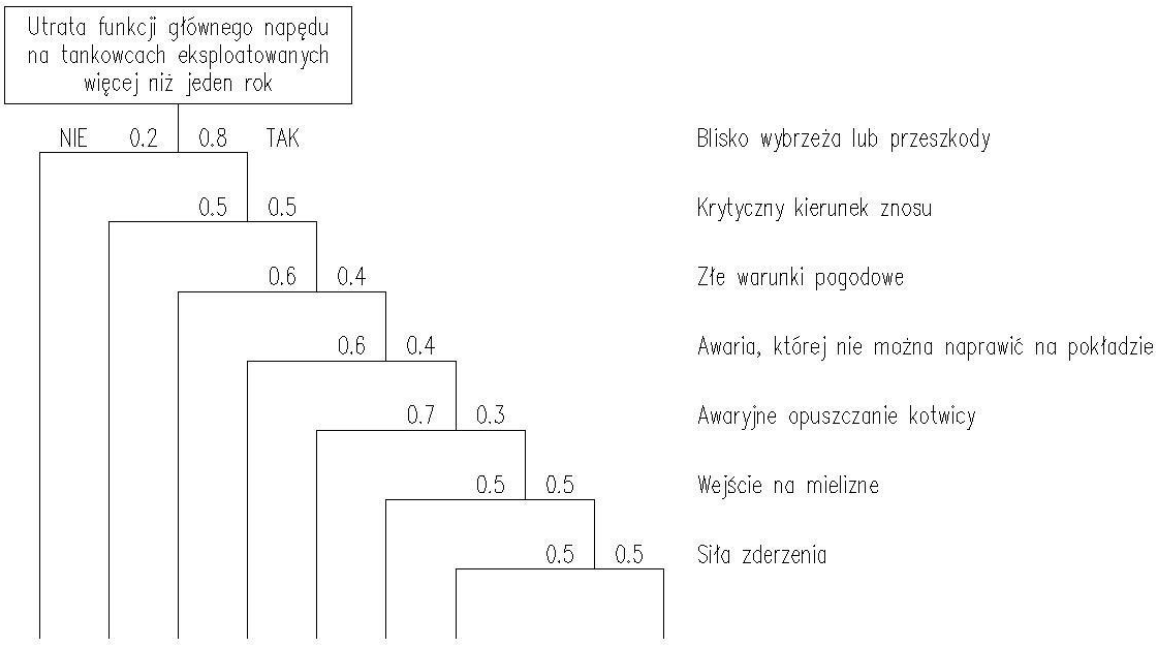
Metodykę postępowania w trakcie analizy danych z wykorzystaniem drzewa zdarzeń przedstawiono na rysunku 5.



Rys. 5 Analiza drzewa zdarzeń

W każdym kolejnym etapie drzewa zdarzeń ogólne przyczyny zajścia awarii muszą być określone w tak szerokim zakresie, jak to tylko możliwe.

Każda funkcja bezpieczeństwa ma dwa stany – sukces lub porażkę. Taka kwantyfikacja prowadzi do wyznaczania sekwencji awaryjnych. Na rysunku 6 zaprezentowano rozkład ET wraz z prawdopodobnymi konsekwencjami.



Rys. 6 Drzewo zdarzeń [Kristiansen S., 2005]

Obliczenie wystąpienia każdej sytuacji awaryjnej opiera się na ustaleniu prawdopodobieństwa warunkowego dla każdej funkcji bezpieczeństwa przy warunku, że zaistniało zdarzenie bezpośrednio poprzedzające. Prawdopodobieństwa obu stanów dla każdego zdarzenia muszą się sumować do jedności. Źródłem prawdopodobieństw warunkowych mogą być dane historyczne, eksperckie itp. Najlepszym oszacowaniem jest konstrukcja i analiza ilościowa drzew błędów dla każdej gałęzi drzewa zdarzeń w przypadku systemów bezpieczeństwa o dużym stopniu kompilacji. Zdarzeniem początkowym dla takiego drzewa błędów jest niewypełnienie funkcji bezpieczeństwa przez system.

2.4 Analiza rodzajów i skutków uszkodzeń

Analiza rodzajów i skutków uszkodzeń (FMEA) jest usystematyzowanym tablicowaniem elementów systemów, sprzętu, ich możliwych sposobów uszkodzenia i skutków dla innych elementów, systemów lub stanu całego obiektu.

Celem FMEA jest systematyczna identyfikacja poszczególnych wad produkcji/procesu oraz ich eliminacja lub minimalizacja skutków. Osiąga się to przez ustalenie związków przyczynowo – skutkowych powstania potencjalnych wad produktu/ procesu przy uwzględnieniu czynników ryzyka. Dzięki temu można w sposób ciągły udoskonalać proces/ produkt przez systematyczne analizowanie i wprowadzanie poprawek, które eliminują źródła wad i poprawiają właściwości wyrobu. Metoda jest opisana normą PN - IEC 812.

Analizę można przeprowadzić dla całego wyrobu, pojedynczego podzespołu lub elementu konstrukcyjnego wyrobu, a także dla całego procesu technologicznego. Wyróżniamy dwa rodzaje analizy FMEA: produktu i procesu:

- FMEA produktu jest ukierunkowana głównie na optymalizację niezawodności produktu. W wyniku jej przeprowadzenia uzyskujemy informacje o silnych i słabych punktach wyrobu,
- FMEA procesu ma na celu identyfikację czynników utrudniających spełnienie wymagań konstrukcyjnych lub dezorganizujących proces produkcyjny.

Podstawowe kroki stosowane w analizie FMEA:

- zdefiniowanie systemu i jego podstawowych funkcji oraz minimalnych wymagań dotyczących działania,
- opis możliwych niepowodzeń i awarii systemu,
- opis skutków niepowodzeń dla każdej awarii systemu,

- usystematyzowanie skutków niepowodzeń w danym okresie częstotliwości i powagi konsekwencji, określając rzetelność danych,
- określenie i ocenienie metod wykrywania awarii systemu,
- opis, w jaki sposób niechciane skutki niepowodzeń mogą być redukowane i eliminowane.

Analiza ilościowa wad ma na celu zdefiniowanie relacji *przyczyna – wada – skutek.* Ocena ta jest dokonywana w skali 1-10 (liczby całkowite) ze względu na trzy kategorie:

- ryzyko (częstość) wystąpienia wady/przyczyny – liczba R,
- możliwość wykrycia pojawienia się przyczyny zanim spowoduje wystąpienie wady – liczba W,
- znaczenie wady dla użytkownika – liczba Z.

Na tej podstawie oblicza się liczbę priorytetu P. Przyjmuje wartości od 1 – 1000 i wraz z jej wzrostem wzrasta ryzyko wystąpienia wady [Huber Z., 2007]:

$$P = R * W * Z \qquad (1.1)$$

Przyjmowanie poszczególnych wartości liczb R, Z odbywa się przy korzystaniu z pomocniczych tabel (tab. 6, tab. 7, tab. 8).

Tabela 6 Klasy częstości [Huber Z., 2007],[Kristiansen S., 2005]

Częstotliwość	**FMEA wyrobu**	**R**	**Kwantyfikacja**
Bardzo rzadko	Wystąpienie wady jest nieprawdopodobne	1-2	1/1000 lub jeszcze rzadziej
Rzadko	Zdarza się stosunkowo mało wad	3-4	1/100 – 1000
Okazjonalnie	Wada zdarza się sporadycznie	5-6	1/10 – 100
Często	Wada powtarza się cyklicznie	7-8	1/1-10
Bardzo często	Wady prawie nie da się uniknąć	9-10	Częściej niż jeden na cykl

Tabela 7 Klasy skutków dla użytkownika [Huber Z., 2007],[Kristiansen S., 2005]

Skutki	FMEA wyrobu	Z
Katastrofalne	Znaczenie wady jest bardzo duże, zagraża życiu, bezpieczeństwu lub narusza przepisy prawa	9-10
Krytyczne	Każda wada spowoduje uszkodzenie systemu, które jest nie do naprawienia i stworzy sytuacje niebezpieczne	7-8
Poważne	Każda wada spowoduje uszkodzenie systemu, lecz pozwoli na jego kontrole i zastąpienie jej innym elementem systemu	5-6
Przeciętne	Wada powoduje ograniczone niezadowolenie i małe utrudnienia.	3-4
Drobne	Skutek minimalny, wada nie ma wpływu na warunki użytkowania systemu.	1-2

Tabela 8 Wskaźnik do przyjmowania liczby W [Huber Z., 2007][Kristiansen S., 2005]

Wykrywalność wady	Prawdopodobieństwo wykrycia wady	W
Bardzo wysoka	Bardzo małe prawdopodobieństwo nie wykrycia wady zanim produkt nie opuści procesu wytwórczego. Automatyczna kontrola 100% elementów, zainstalowanie zabezpieczenia.	1-2
Wysoka	Małe prawdopodobieństwo nie wykrycia wady przed zakończeniem operacji. Wada jest ewidentna, kilka wad może zostać nie wykrytych.	3-4
Przeciętna	Prawdopodobieństwo średnie nie wykrycia wady produktu przed zakończeniem operacji. Ręczna kontrola utrudniona.	5-6
Niska	Prawdopodobieństwo nie wykrycia wady wysokie. Ocena subiektywna w zakresie kontroli wyrywkowej próbek.	7-8
Bardzo niska	Prawdopodobieństwo niewykrycia wady wysokie. Punkt jest niekontrolowany. Wada jest niewidoczna.	9-10

Dokumentację analizy FMEA tworzy tablicowany raport opisujący skutki uszkodzeń sprzętu/ systemu na działanie pozostałych urządzeń/ elementów systemu (tab. 9).

Tabela 9 Metoda FMEA

System:			**Sporządził:**									
Tabela nr:			**Data:**						**Strona:**			
Opis systemu			**Opis uszkodzenia**			**Efekt uszkodzenia**						
Lp.	Funkcja	Tryb pracy	Tryb uszkodzenia	Powód uszkodzenia lub mechanizm	Wykrycie uszkodzenia	Podsystem	Funkcja systemu	Wynikający stan	Stawka niepowodzenia	Ranking powagi	Pomiar redukcji ryzyka	Uwagi
1.	Napęd	Normalny	Stop, redukcja funkcji	Brak paliwa	Dźwięk alarmu	Urządzenie Wyładunkowe	Połowa efektu	Redukcja prędkości	Rzadki	Poważny	Wyłączenie	Naprawić

2.5 Niezawodność człowieka – operatora

Analiza ryzyka obejmuje przeprowadzenie ilościowej oceny ryzyka powiązanego z projektem i operatorem. Wymagane jest zrobienie realistycznej oceny błędu człowieka powiązanego ze zdarzeniem. Ocena niezawodności człowieka dotyczy wpływu operatorów i personelu obsługującego na działania systemu. Analiza ta może zostać wykorzystana do wyznaczenia wpływów błędów ludzkich na bezpieczeństwo i wysokość produkcji. Ocena ludzkiej solidności odbywa się przez udzielenie odpowiedzi na następujące pytania [Kristiansen S., 2005]:

- identyfikacja błędu człowieka: Co mogło pójść źle?
- kwantyfikacja błędu człowieka: Jak często będzie się powtarzać?
- redukcja błędu człowieka: W jaki sposób można zapobiegać lub ograniczać zdarzenie?

2.5.1 Analiza Niezawodności Ludzkiej

Ocena HRA jest metodą interdyscyplinarną, w której badacze i praktycy na ogół wywodzą się z różnych dziedzin, zarówno inżynierii niezawodności, psychologii jak i czynników ludzkich. W wielu procesach mogą potencjalnie występować błędy ludzkie, w szczególności, gdy czas, jaki ma operator na podjęcie decyzji, jest krótki. Często małe jest prawdopodobieństwo, że problemy rozwiną się na tyle dalece, aby stały się poważne. Jednakże czasami działanie człowieka będzie jedynym środkiem zapobiegającym niezdatnością inicjującym, zmierzającym w stronę wypadku [Kristiansen S., 2005].

W ocenie HRA identyfikuje różnorodne rodzaje błędnych działań, które mogą się pojawić. Celem analizy błędów ludzkich (tab. 10) jest ustalenie wykazu prawdopodobnych

błędów ludzkich, które mogą się przyczynić do powstania niepożądanych konsekwencji. Algorytm postępowania w analizie niezawodności przedstawiono na rysunku 7.

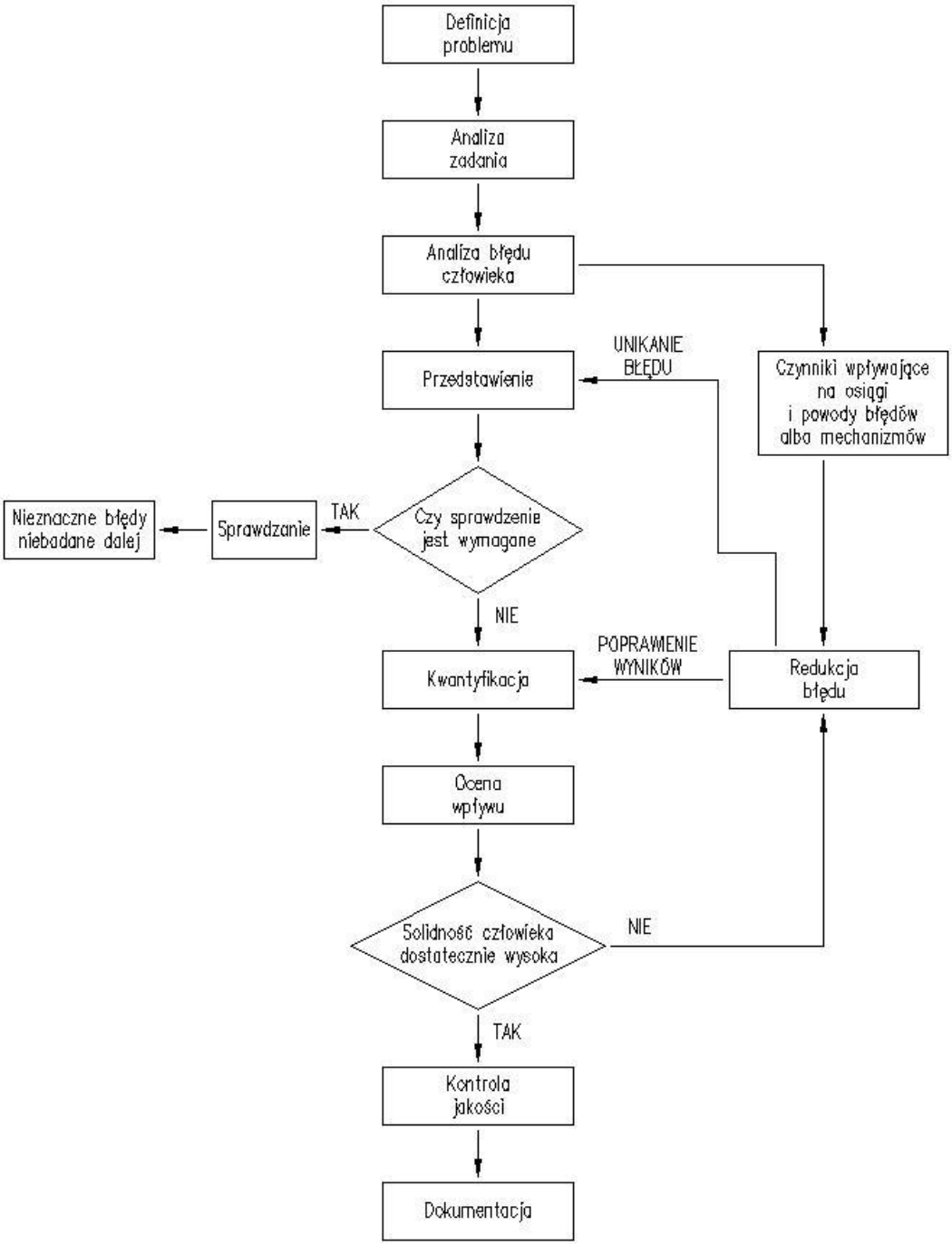
Tabela 10 Przykładowe błędy ludzkie
[Kopacz Z., Morgaś W., Urbański J., 2005] [MSC/Circ.1023 MEPC/Circ.392]

Błędy fizyczne	**Błędy psychiczne**
Pominięcie czynności	Niedostateczna znajomość systemu lub sytuacji
Działanie nadmierne/ niedostateczne	Niedostateczna koncentracja
Działanie błędne	Nie zapamiętanie procedury postępowania
Działanie w nieodpowiednim czasie	Przerwa w porozumiewaniu się
Działanie dotyczące nieodpowiedniego obiektu	Niewłaściwa ocena sytuacji

Ocena ryzyka powinna uwzględniać analizę systemu, sprzętu, oprogramowania i niezawodność człowieka – operatora. Metoda HRA ilustruje niebezpieczeństwo ignorowania błędu człowieka w analizie i jest użyteczna w uwypuklaniu tych błędów, które mogą w sposób wyraźny pogarszać produktywność i działanie systemu.

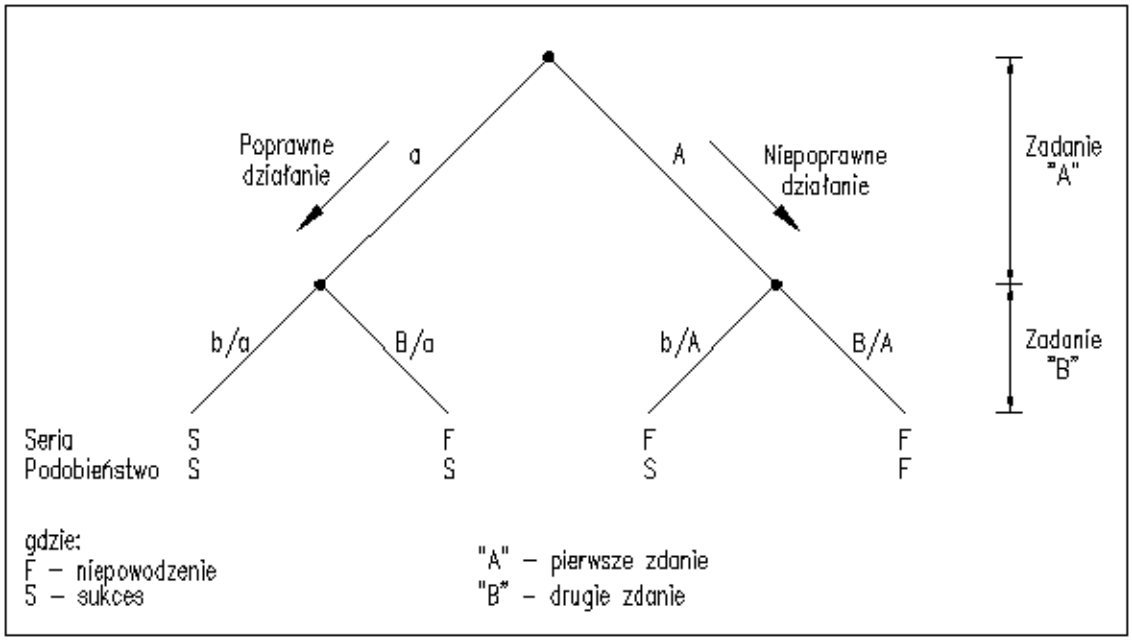
Technika ta pozwala na uniknięcie poważnych uszkodzeń. Zaleca się, aby analizę zadania i identyfikację błędu ludzkiego przeprowadzić już w fazie koncepcji, definiowania projektu, uaktualnianie jej w następnych fazach systemu.

Przedstawienie istotnych działań człowieka w drzewie zdarzeń jest oparte na analizie przeprowadzonej w pierwszej fazie projektowania systemu. Kolejnym etapem jest zidentyfikowanie istotnych cech wynikających z określonych działań człowieka – operatora. Każde działanie człowieka dzieli się na zadania i podzadania (rys.8).



Rys. 7 Algorytm postępowania przy wykonywaniu analizy niezawodności człowieka [Kristiansen S., 2005]

Drzewo zdarzeń HRA jest modeluje się w systemie binarnym – zaistnieć może tylko sukces albo niepowodzenie. „Gałęzie" w drzewie zdarzeń metody HRA pokazują różnice w działaniach człowieka i wartości przypisane wszystkim działaniom człowieka przedstawione przez „gałęzie" warunkowego prawdopodobieństwa.



Rys. 8 Drzewo zdarzeń analizy niezawodności ludzkiej [Kristiansen S., 2005]

a - prawdopodobieństwo osiągnięcia sukcesu zadania „A”

A - prawdopodobieństwo osiągnięcia niepowodzenia zadania „A”

b/a - prawdopodobieństwo osiągnięcia sukcesu zadania „B” pod warunkiem a

B/a - prawdopodobieństwo osiągnięcia niepowodzenia zadania „B” pod warunkiem a

b/A - prawdopodobieństwo osiągnięcia sukcesu zadania „B” pod warunkiem A

B/A - prawdopodobieństwo osiągnięcia niepowodzenia zadania „B” pod warunkiem A

2.5.2 Technika przewidywania wielkości ludzkiego błędu

Technika THERP (Technique for Human Error Rate Prediction) jest prawdopodobnie najbardziej znaną i najbardziej powszechna techniką wykorzystywaną do analizy niezawodności człowieka. Głównym celem THERP jest dostarczanie danych dotyczących ludzkiej niezawodności dla oceny prawdopodobieństwa ryzyka i bezpieczeństwa [MSC-MEPC.2/Circ.6].

Metodologia postępowania:

- identyfikacja systemu niepowodzeń,
- analiza powiązanych czynności człowieka,
- określenie prawdopodobieństwa błędu człowieka,
- ustalenie konsekwencji dla systemu zdarzeń kończących się niepowodzeniem,
- zalecenia i ocena zmian.

Prawdopodobieństwo konkretnego błędnego działania [Kopacz Z., Morgaś W., Urbański J., 2006]:

$$P_{EA} = HEP_{EA} \sum_{k=1}^{m} PSF_k * W_k + C \qquad (1.2)$$

gdzie:

P_{EA} = prawdopodobieństwo błędu dla konkretnego działania,

HEP_{EA} = podstawowy (nominalny) operator prawdopodobieństwa błędu konkretnego działania,

PSF_k = Wartość liczbowa k-tego przedstawienia kształtującego czynnik,

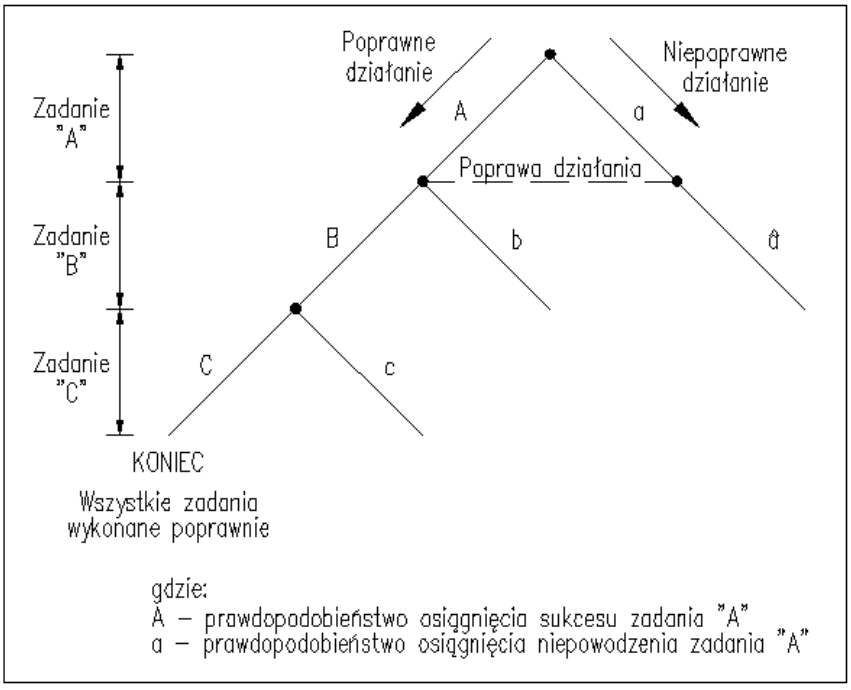
W_k = Waga PSF_k (stała numeryczna),

C = Stała numeryczna,

m = Liczba PSF.

Prawdopodobieństwo jest funkcją prawdopodobieństwa błędu dla generowanego zadania zmodyfikowanego przez istotne kształtujące czynniki. Podstawowy operator prawdopodobieństwa błędu konkretnego działania może być przedstawiony w 27 tabelach. Wartość liczbowa przedstawienia kształtującego czynnika jest stabelaryzowany w podobny sposób (tab. 11).

Modelowanie istotnych działań człowieka w postaci drzewa zdarzeń bazuje głównie na analizie wykonanej podczas identyfikacji systemu niepowodzeń (rys. 9).



Rys. 9 Modelowanie wg zasad wykorzystywanych w THERP [Kristiansen S., 2005]

Tabela 11 Wartość przedstawienia kształtującego czynnik w THERP [Kristiansen S., 2005]

Charakterystyka sytuacji	Cechy architektoniczne	Dostępność specjalistycznego wyposażenia
	Temperatura	Adekwatność specjalistycznego wyposażenia
	Wilgotność	Rotacja zmian
	Jakość powietrza	Struktura organizacyjna
	Oświetlenie	Adekwatność komunikacyjna
	Hałas i wibracje	Dystrybucja i odpowiedzialność
	Stopień ogólnej czystości	Podjęte akcje przez współpracowników
	Godziny pracy i godziny odpoczynku	Nagrody, rozpoznanie, korzyści
Instrukcje pracy i zadań	Wymagane procedury	Metody pracy
	Ostrożności i ostrzeżenia	Polityka obsadzania
	Komunikacja pisemna lub ustna	
Zadania i charakterystyczne wyposażenie	Wymogi percepcyjne	Częstotliwość monotonii
	Wymogi samochodowe (prędkość, siła, itp.)	Krytyczność zadań
	Kontrola okazywanych stosunków	Pamięć krótko i długo terminowa
	Stosunki antycypacyjne	Wymogi kalkulacyjne
	Interpretacja	Znajomość rezultatów
	Decydenci	Dynamiczność
	Złożoność	Struktura zespołu i komunikacja
	Dokładność zadania	Interfejs człowiek - maszyna
Psychiczne bodźce stresowe	Pośpiech od początku	Długie, spokojne okresy czujności
	Czas trwania stresu	Konflikty dotyczące wykonania pracy
	Czas na zadanie	Negatywna lub wzmożona nieobecność
	Wysokie niebezpieczeństwo ryzyka	Czynniki deprywacyjne
	Strach (przed niepowodzeniem, utratą pracy, itp.)	Rozpraszanie
	Jednostajna lub nic nieznacząca praca	Nierówne nadawanie sygnału
Fizjologiczne bodźce stresowe	Czas trwania stresu	Ekstremalne ciśnienie atmosferyczne
	Zmęczenie	Niewystarczająca ilość tlenu
	Ból lub dyskomfort	Wibracje
	Głód lub pragnienie	Ograniczenie ruchu
	Ekstremalne temperatury	Brak gimnastyki
	Promieniowanie	Zakłócenie rytmu dobowego
	Ekstremalna siła przyciągania ziemskiego	
Czynniki organizmu	Wcześniejsze szkolenie/ doświadczenie	Stan emocjonalny
	Stan bieżącej praktyki albo umiejętności	Różnice seksualne
	Osobowość i inteligencja	Kondycja psychiczna
	Motywacja i postawa	Postawy oparte na zewnętrznych wpływach
	Wymagana wiedza	Identyfikacja grupowa
	Stres	

3. Zarządzanie bezpieczeństwem żeglugi

Bezpieczeństwo żeglugi jest uwarunkowane międzynarodowymi konwencjami, kodeksami i regulacjami wydawanymi głównie przez Międzynarodową Organizację Morską. Szczegółowe zasady dotyczące konstrukcji statków opracowywane są na podstawie wytycznych IMO przez niezależne towarzystwa klasyfikacyjne. Dodatkowo narodowe administracje morskie wydają szczegółowe przepisy dotyczące bezpieczeństwa żeglugi na akwenach obejmujących ich jurysdykcją.

Kontrola przestrzegania przepisów w zakresie bezpieczeństwa, środków ratunkowych, kwalifikacji załogi i wyposażenia nawigacyjnego wykonywana jest przez Port State Control (nieregularnie), a w zakresie wymagań technicznych przez rzeczoznawców towarzystw klasyfikacyjnych (regularnie). Międzynarodowy charakter żeglugi morskiej wymaga od Polski przestrzegania powyższych przepisów.

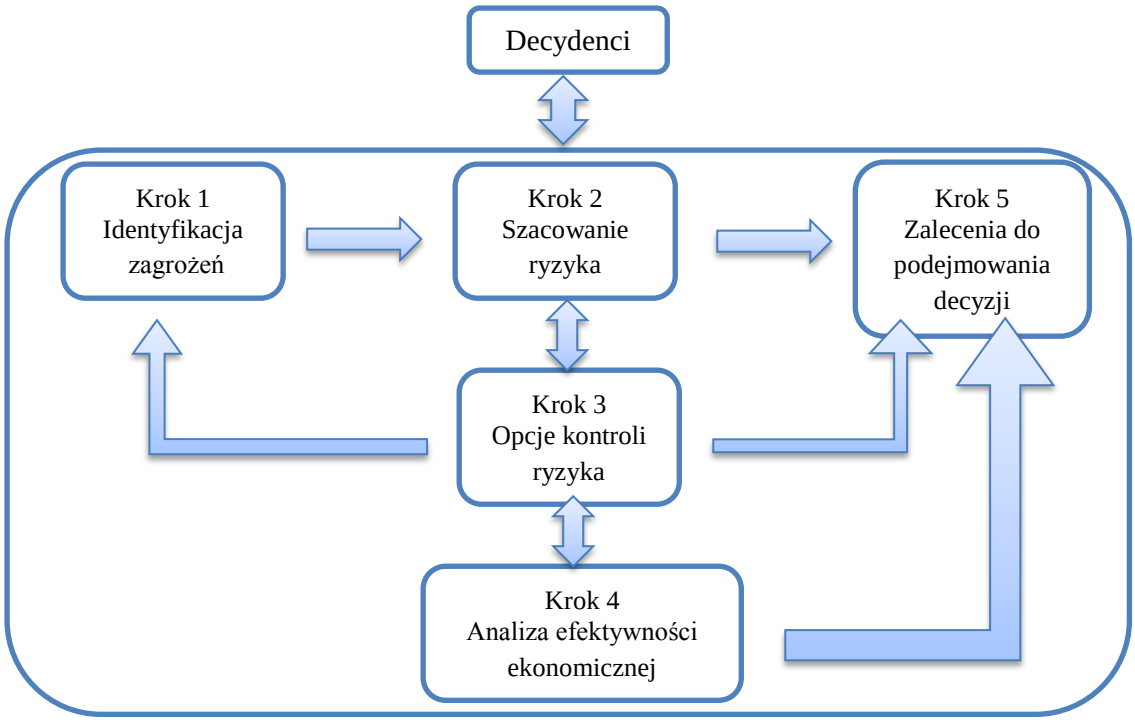
Przepisy dotyczące bezpieczeństwa morskiego powstawały w głównej mierze jako reakcja na wypadki morskie przy równoczesnym wykorzystaniu wiedzy i doświadczeń z nich płynących. Taka konstrukcja przepisów zapewnia dużą akumulację wiedzy, lecz uniemożliwia szybkie ich dostosowanie do zmieniającej się rzeczywistości.

Głównym dokumentem dotyczącym zarządzania ryzykiem w transporcie morskim jest wydana przez IMO metodologia sformalizowanej procedury zarządzania bezpieczeństwem FSA [MSC/Circ.1023 MEPC/Circ.392]. Przeznaczona jest ona do wsparcia procesu decyzyjnego w aspekcie oceny wpływu zmian przepisów na bezpieczeństwo żeglugi. FSA to pięciostopniowa procedura, bazująca na ogólnie przyjętej metodologii zarządzania ryzykiem. FSA stosowana jest przede wszystkim do oceny celowości i kosztów wprowadzania nowych uregulowań prawnych.

Formalną ocenę bezpieczeństwa morskiego (FSA) wykorzystuje się do:

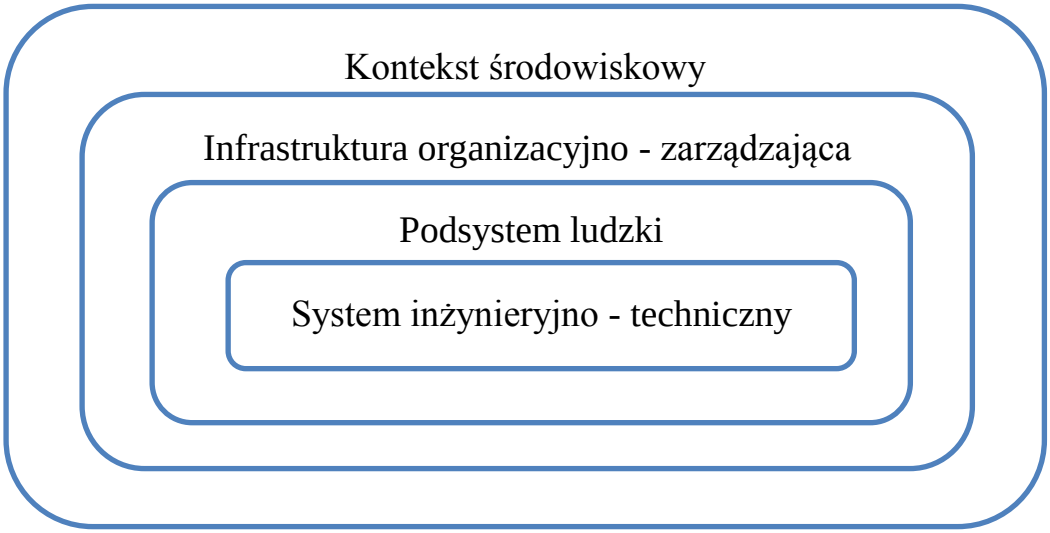
- określenia nowych unormowań dotyczących bezpieczeństwa na morzu oraz ochrony środowiska morskiego,
- porównania istniejących oraz proponowanych rozwiązań prawnych w celu zrównoważenia czynników technicznych i operacyjnych z uwzględnieniem czynnika ludzkiego,
- porównania poziomu bezpieczeństwa morskiego, ochrony środowiska i przewidywanych kosztów.

Metodyka formalnej oceny bezpieczeństwa zbudowana jest z pięciu kroków (rys. 10).



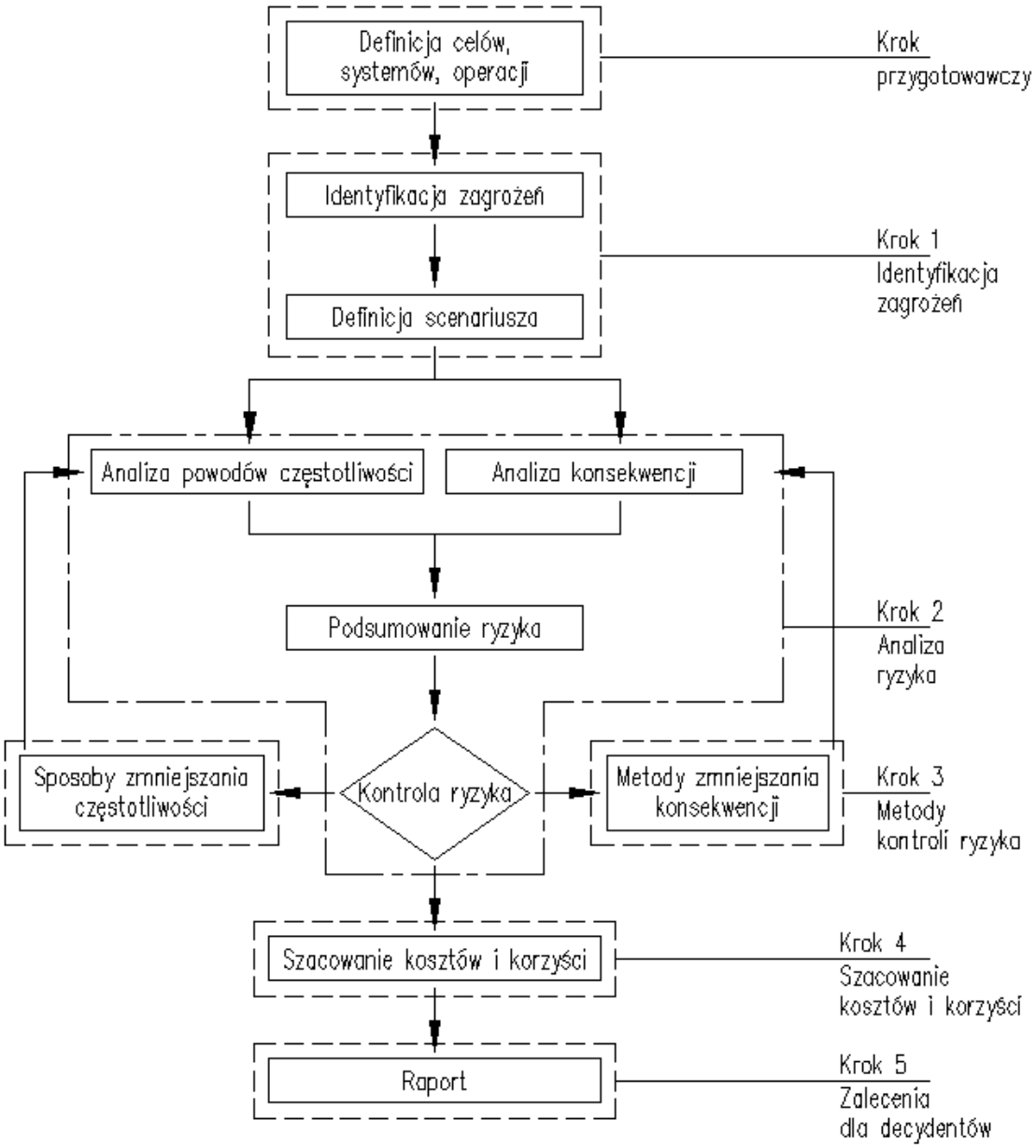
Rys. 10 Schemat formalnej oceny bezpieczeństwa żeglugi (FSA) wg IMO [MSC 69/INF.14]

Elementy będące przedmiotem analiz i ocen prowadzonych w ramach FSA można zaprezentować jako zintegrowany system składający się z czterech części przedstawionych na rysunku 11.



Rys. 11 Elementy zintegrowanego systemu [MSC/Circ.1023 MEPC/Circ.392]

Algorytm postępowania w budowaniu formalnej oceny bezpieczeństwa przedstawiono na rysunku 12. Przedstawiono na nim poszczególne kroki, zależności pomiędzy nimi i główne elementy w kolejnych blokach.



Rys. 12 Algorytm sekwencji działań w FSA [Kontovas Ch. A., Psaraftis H. N., 2009]

Innymi dokumentami związanymi z ryzykiem w nawigacji i jego zarządzaniem są zalecenia wydawane przez organizacje międzynarodowe, takie jak na przykład Międzynarodowe Stowarzyszenie Służb Oznakowania Nawigacyjnego IALA (International Association of Marine Aids to Navigation and Lighthouse Authorities) [IALA, 2000], która udostępnia swym członkom dwa narzędzia do zarządzania ryzykiem: IWRAP (IALA Waterway Risk Assessment Programme) oraz PAWSA (Port and Waterways Safety Assessment). Narzędzia te pozwalają na określanie ryzyka na torach wodnych z uwzględnieniem szeregu czynników. PAWSA uznawana jest za metodę jakościową stosowaną do szacowania ryzyka na torach wodnych przez Straż Przybrzeżną Stanów

Zjednoczonych. IWRAP to metoda ilościowa, która pozwala na określanie ryzyka wypadków nawigacyjnych na akwenach ograniczonych, zastosowana z powodzeniem do oceny ryzyka w cieśninach duńskich. Procedury te mogą być połączone ze sobą i tworzyć zintegrowane narzędzie do zarządzania ryzykiem [Gucma L., 2009].

Jako przykład wytycznych branżowych do zarządzania ryzykiem można przedstawić wydane przez Det Norske Veritas (norweskie towarzystwo klasyfikacyjne) dla brytyjskiej HSE (Health and Safety Executive) „Marine Risk Assessment" [DNV, 2002] stanowiące szczegółowe wytyczne do szacowania ryzyka przeznaczone szczególnie dla przemysłu wydobywczego przybrzeżnego [Gucma L., 2009].

Przykładem norm narodowych do szacowania ryzyka w portach morskich są normy australijskie i nowozelandzkie [Waterways Guidelines 2011].

Dokumentami regulującymi postępowanie na śródlądowych drogach wodnych w Polsce są Dz.U. 2001 Nr 5 poz. 43 w sprawie żeglugi śródlądowej i Dz.U. 2002 Nr 17 poz. 161 odnoszące się do postępowania w przypadku wystąpienia wypadków w żegludze śródlądowej.

3.1 Zalecenia Międzynarodowej Organizacji Morskiej

MSC 69/INF.14 Formal Safety Assessment, IMO, Londyn, 12.02.1998r.

Formalna ocena bezpieczeństwa. Aspekty metodologii FSA. Doświadczenie zyskane dzięki podjętym próbom przez Wielką Brytanię. Przedstawione przez Wielką Brytanię.

Rezolucja opisuje wszelkie możliwe aspekty teoretyczne stosowania metody FSA, warunki, w jakich może być ona stosowana. Opis metod i technik wykorzystanych w procesie FSA (technika drzewa zdarzeń i drzewa błędów).

MSC/Circ.1022 MEPC/Circ.391 Guidance on the use of human element analyzing process (HEAP) and formal safety assessment (FSA) in the IMO rule making process, IMO, Londyn 16.05.2002.

Wytyczne w sprawie stosowania metod HEAP i FSA w procesie tworzenia przepisów IMO. Metody HEAP i FSA zostały zatwierdzone do stosowania w IMO oraz zostały opracowane i opublikowane wytyczne do ich stosowania. Wytyczne zawarte w tym okólniku stanowią uzupełnienie do okólników: dotyczących FSA MSC/Circ.1023-MEPC/Circ.392 i dotyczący HEAP MSC/Circ878-MEPC/Circ.346. Dołączone do okólnika Aneksy dotyczą kolejno: Różnice pomiędzy metodą HEPA i FSA; Przykłady zastosowania metody HEAP

w procesie tworzenia przepisów IMO; Wytyczne praktycznego zastosowania metody FSA w procesie tworzenia przepisów IMO.

MSC/Circ.1023 MEPC/Circ.392 Guidelines for formal safety assessment (FSA) for use in the IMO rule-making process, IMO, Londyn 05.04.2002.

Wytyczne w sprawie stosowania FSA w procesie tworzenia przepisów IMO. Okólnik zachęca Państwa członkowskie oraz Organizacje pozarządowe do stosowania metody FSA zgodnie z wytycznymi zatwierdzonymi przez IMO. Zawiera również prośbę, aby uzyskane tą metodą wyniki przesłać do IMO, stosują formularz zawarty w Appendix 8. Wytyczne składają się z 10 rozdziałów opisujących: cele i zastosowania tej metody; podstawową terminologię; zastosowaną metodologię; kroki postępowania – identyfikację zagrożeń, analizę ryzyka, opcje kontroli ryzyka, ocena kosztów i korzyści, zalecenia dla decydenta; prezentację wyników metody FSA.

MSC/Circ.1180 MEPC/Circ.474 Amendments to the guidelines for formal safety assessment (FSA) for use in the IMO rule-making process (MSC/Circ.1023 – MEPC/Circ.392), IMO, Londyn 25.08.2005.

Wspólny okólnik obu Komitetów, zawiera poprawki do ww. wytycznych (poprawki wprowadzono do paragrafów: 3.1.2.1; 3.2.2; 10.1.3 i Appendix 8;). Wprowadzono również nowe paragrafy: 3.2.3 i 3.2.4, dotyczące stosowania do analizy ryzyka modeli analitycznych w przypadku braku danych historycznych.

MSC-MEPC.2/Circ.5 Amendments to the guidelines for formal safety assessment (FSA) for use in the IMO rule-making process (MSC/Circ.1023 – MEPC/Circ.392), IMO, Londyn 16.10.2006.

Poprawki do wytycznych dla FSA używanych w procesie tworzenia przepisów. Okólnik stanowi uzupełnienie wydanego w 2002 roku okólnika MSC/Circ.1023-MEPC/Circ.392.

MSC-MEPC.2/Circ.6 Amendments to the guidance on the use of human element analysing process (HEAP) and formal safety assessment (FSA) in the rule-making process of IMO (MSC/Circ.1022 – MEPC/Circ.391), IMO, Londyn 16.10.2006.

Poprawki do wytycznych w sprawie procesu analizy czynnika ludzkiego (HEAP) i FSA w procesie tworzenia przepisów. Okólnik stanowi uzupełnienie wydanego w 2002 okólnika MSC/Circ.1022-MEPC/Circ.391.

3.2 Identyfikacja zagrożeń

Analiza ryzyka rozpoczyna się od określenia i zrozumienia występujących zagrożeń. Polega ona na zaprezentowaniu najcięższych zagrożeń, opisaniu scenariuszy uwalniania się tych zagrożeń i rozwoju powiązanych z nimi konsekwencji, przy uwzględnieniu czynnika ludzkiego i wpływu otoczenia.

Identyfikacja zagrożeń w procesie FSA rozpoczyna się od precyzyjnego ustalenia i szczegółowego opisania problemu. Prawidłowe zlokalizowanie problemu posłuży do efektywnego opisania opcji kontroli ryzyka dla analizowanego systemu.

Ryzyko indywidualne i społeczne powinno zostać przedstawione na wykresie ALARP. Ryzyko to powinno zawierać w sobie zyski wynikające z metod kontroli ryzyka.

Ocenie zostanie poddanych 7 typów zagrożeń, które występowały najczęściej na badanym obszarze w ciągu ostatnich 10 lat. Są to:

- wejście na mieliznę;
- awaria techniczna;
- kolizja jednostek;
- wypadek z udziałem człowieka;
- kontakt z nabrzeżem;
- kolizja z obiektem nawigacyjnym.

Dla każdego rodzaju zagrożenia należy ustalić prawdopodobne przyczyny zagrożenia, należy też ustalić częstość występowania, oraz prawdopodobny skutek i na tej podstawie określić wartość wskaźnika ryzyka.

Krok 1 w FSA obejmuje identyfikację rodzajów i źródeł zagrożeń. Zazwyczaj jest ona przeprowadzana przez grupę ekspertów z odpowiednich dziedzin, którzy powinni ustalić:

- listę rodzajów zagrożeń i towarzyszących im scenariuszy zdarzeń według poziomu ryzyka,
- opis przyczyn i skutków.

Element analityczny powinien zawierać wcześniejsze doświadczenie zaczerpnięte z przebiegu pracy, a także typowe informacje dotyczące zdarzeń. Przykładowe zagrożenia przedstawiono w tabeli 12.

Wnikliwa analiza możliwych wypadków i następstw każdej z kategorii wypadków powinna być wykonywana przy użyciu ustalonych technik, wybranych w zależności od problemu zawartego w pytaniu [Orymowska, J., Pilip, K., 2016].

Ostatnim elementem procesu identyfikacji zagrożeń jest poznanie sprawdzanego etapu niebezpieczeństwa i ogólnie obejmującą strukturę w kolejnym kroku, wprowadzonych później elementów w metodologii FSA. Grupowanie niebezpieczeństw do ogólnych kategorii wypadków, jest w pewnym stopniu klasyfikacją zagrożeń.

Tabela 12 Przykładowe zagrożenia wynikające z przeprowadzonej identyfikacji zagrożeń [MSC/Circ.1023 MEPC/Circ.392]

Niebezpieczeństwa mogące spotkać personel znajdujący się na statku	▪ wdychanie azbestu; ▪ ogień z substancji ciekłych żrących i kwasu; ▪ wstrząs elektryczny i śmiertelne porażenie prądem elektrycznym; ▪ wypadnięcie za burtę statku; ▪ operacja podjęcia i zdjęcia pilota.	
Niebezpieczne substancje znajdujące się na statku	**Obszar nadbudówki**	▪ materiały palne użyte do wyposażenia pomieszczeń personelu; ▪ środki czyszczące, przechowywane w magazynkach; ▪ olej/tłuszcz będący na wyposażeniu kuchni.
	Obszar pokładu	▪ ładunek; ▪ farby, oleje, smary itp., przechowywane w magazynkach pokładowych.
	Przestrzeń maszynowa	▪ okablowanie; ▪ paliwo lekkie i ciężkie używane do maszyn, bojlery itp.; ▪ paliwo, oleje smarujące i hydrauliczne w zęzach; ▪ czynniki chłodzące; ▪ termalny płyn grzewczy w systemach.
Potencjalne źródła zapłonu	**Ogólne**	▪ łuk elektryczny; ▪ tarcie; ▪ gorąca powierzchnia; ▪ iskra zapalająca; ▪ otwarty ogień; ▪ fale radiowe.
	Obszar nadbudówki łącznie z mostkiem nawigacyjnym	▪ elektryczne urządzenia nawigacyjne; ▪ wyposażenie pralni: żelazka, pralki, suszarki, itp.;
	Obszar pokładu	▪ oświetlenie pokładów; ▪ spaliny z komina; ▪ praca powodująca wzrost temperatury otoczenia.
	Przestrzeń maszynowa	▪ jednostki sprężające powietrze; ▪ kolektor wydechowy silnika generatora.
Czynniki zewnętrzne działające na statek	▪ sztormy; ▪ wyładowania atmosferyczne; ▪ niezaznaczone na mapie obiekty podwodne; ▪ inne statki.	

3.3 Szacowanie ryzyka

Szacowanie ryzyka jest procesem ustalania rodzajów i rangi ryzyka dla ludzi, mienia i środowiska morskiego. Jest to poszukiwanie przyczyn i konsekwencji najbardziej możliwych scenariuszy zdarzeń zidentyfikowanych w pierwszym kroku.

Celem szacowania ryzyka jest przedstawienie propozycji, co do zakresu zmian i udoskonaleń infrastruktury niezbędnych dla zapewnienia akceptowalnego poziomu zagrożenia dla ruchu jednostek na Zatoce Pomorskiej. Są to między innymi:

- określenie głównych rodzajów zagrożeń dla transportu morskiego,
- określenie udziału poszczególnych rodzajów infrastruktury tworzących System Monitoringu Ruchu Statków, Informacji i Wspomagania Nawigacyjnego (rodzajów infrastruktury nawigacyjnej) w kontroli ryzyka dla transportowców,
- przedstawienie propozycji koniecznych zmian strukturalnych i technologicznych poszczególnych rodzajów infrastruktury nawigacyjnej w celu zapewnienia odpowiedniego ich udziału w kontroli ryzyka dla ruchu statków w rejonie.

Przy ustalaniu i formowaniu propozycji należy kierować się ustaleniami odnośnie udziału poszczególnych rodzajów infrastruktury nawigacyjnej w kontroli ruchu, a także wymaganiami międzynarodowymi, unijnymi i Komisji Helsińskiej odnośnie Systemu Wspomagania Nawigacyjnego oraz Monitoringu Ruchu Statków.

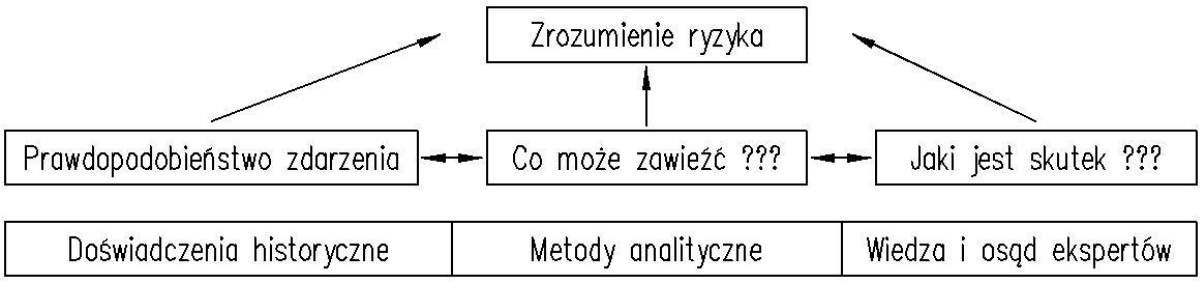
Metody i techniki analizy ryzyka powodowane czynnikami środowiskowymi i eksploatacyjnymi dzielimy na:

- jakościowe analizy ryzyka, które są wykorzystywane do identyfikacji zagrożeń,
- ilościowe (rozgałęzione metody analizy ryzyka), stosowane głównie do oszacowania ryzyka, mogą być również stosowane do identyfikacji zagrożeń.

Ocena ryzyka jest procesem gromadzenia danych o zdarzeniach i ich syntezy w celu wyznaczenia poziomu ryzyka związanego z wypadkami w systemie.

Proces kwantyfikacji danych o wypadkach i niepowodzeniach, a także informacje z innych źródeł może zostać wykorzystany do umieszczenia tych danych na właściwych poziomach analizy. Dane, które są niedostępne, można zastąpić kalkulacjami, symulacjami zdarzeń, a także wszelkimi innymi znanymi technikami w celu wydania oceny przez ekspertów.

Szacowanie ryzyka składa się z elementów przedstawionych na rysunku 13.



Rys. 13 Elementy oceny ryzyka [Brandowski A., 2002]

Ocena ryzyka polega na wyznaczeniu jakościowego lub ilościowego ryzyka wypadków, a następnie oceny ich w macierzy ryzyka. Ilościowa analiza ryzyka wymaga oszacowania wartości częstotliwości i/lub prawdopodobieństwa wypadku, jak i związanych z nim konsekwencji [Brandowski A., 2002].

Kryteria jakościowe są prezentowane w postaci macierzy ryzyka, gdzie przyporządkowuje się oceny ciężkości parą złożonym z częstości lub prawdopodobieństwa wystąpienia wypadków i ich konsekwencji. Kryteria ciężkości skutków (analiza częstości) i kryteria prawdopodobieństwa (analiza konsekwencji) przedstawiono w tabelach 13 i 14.

Tabela 13 Kryteria ciężkości skutków [Brandowski A., 2002]

Waga konsekwencji	**Definicja**
Nieistotne	Drobne uszkodzenia, drobne niedogodności pasażerów.
Znaczące	Uszkodzenia nie wpływające na zdolność żeglugową, skaleczenia wyleczone środkami pierwszej pomocy.
Ciężkie	Raportowane wypadki morskie.
Katastroficzne	Śmierć ludzi, utrata statku, poważne wypadki morskie.

Tabela 14 Kryteria prawdopodobieństwa [Brandowski A., 2002]

Prawdopodobieństwo	**Opis**
Bardzo małe	Scenariusz wypadku wysoce nieprawdopodobny.
Małe	Scenariusz wypadku nieprawdopodobny. Byłoby wielce nieprawdopodobne, gdyby się wydarzył.
Istotne	Scenariusz wypadku może się wydarzyć. Nie będzie wielce

	nieprawdopodobne, gdy się wydarzy.
Duże	Scenariusz wypadku pojawił się w przeszłości i/lub jest oczekiwany w przyszłości.

Macierz ryzyka zawiera kolumny odpowiadające ciężkości konsekwencji wypadków oraz wiersze odpowiadające prawdopodobieństwu lub częstości występowania zdarzeń. W środku macierzy umieszczone są jakościowe miary ciężkości ryzyka, którym odpowiadają decyzje odnoszące się do akceptowalności ryzyka. Macierz ryzyka przedstawiono w tabeli 15.

Tabela 15 Macierz ryzyka [Brandowski A., 2002]

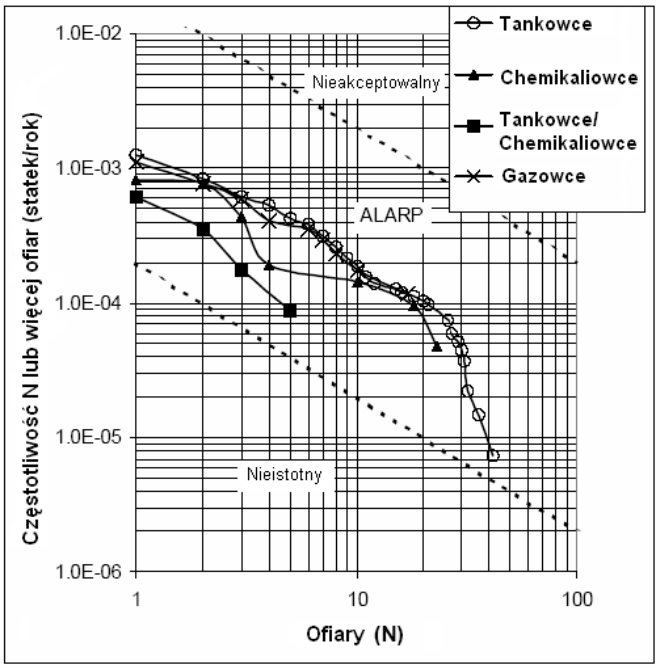
Prawdopodobieństwo wystąpienia	**Konsekwencje**			
	Nieistotne	**Znaczące**	**Ciężkie**	**Katastroficzne**
Duże	A	U	N	N
Istotne	A	U	N	N
Małe	A	A	U	N
Bardzo małe	A	A	A	U

Poziom ryzyka:

A – ryzyko akceptowalne
U – ryzyko umiarkowane
N – ryzyko nie akceptowalne

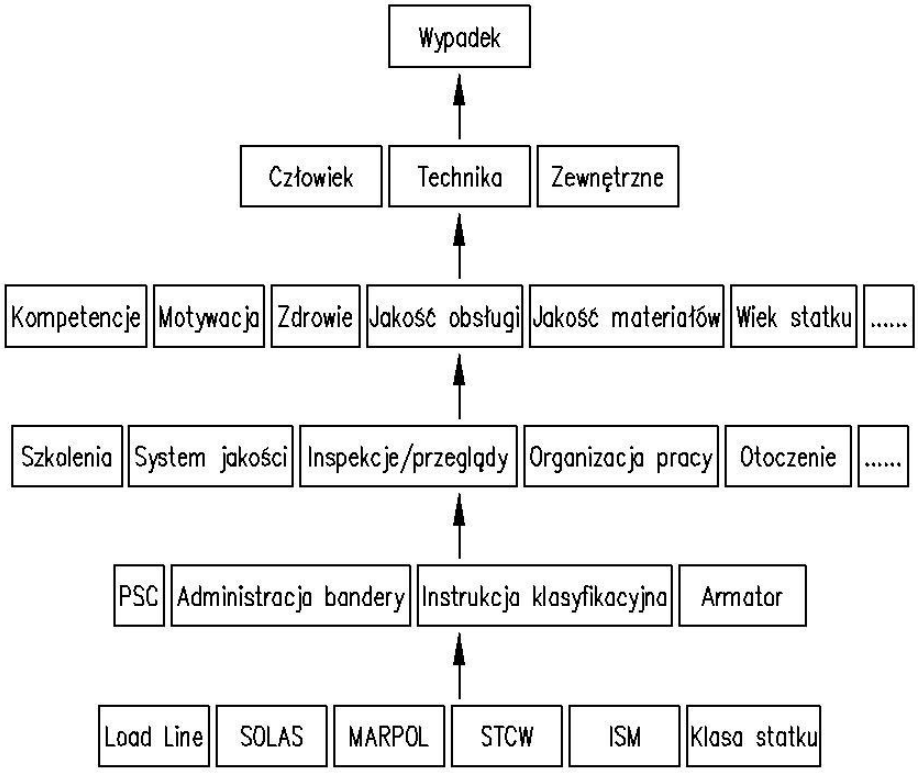
Kryteria ilościowe stosuje się do oceny wymagań jako liczbową wartość prawdopodobieństwa. Są to wartości przybliżone pomocne jako wytyczne dla zachowania wspólnego układu odniesienia.

Ryzyko społeczne to ryzyko wypadku śmiertelnego dla jednej lub kilku/kilkunastu osób. Ryzyko całkowite przedstawia się w postaci krzywych F –N (rys.). Krzywe te wyznacza się dla poszczególnych kategorii wypadków, a następnie składa się je dla wszystkich kategorii. Wykres F - N wyraża zależności pomiędzy częstością F występowania wypadku śmiertelnego, a liczbą N wypadków śmiertelnych.



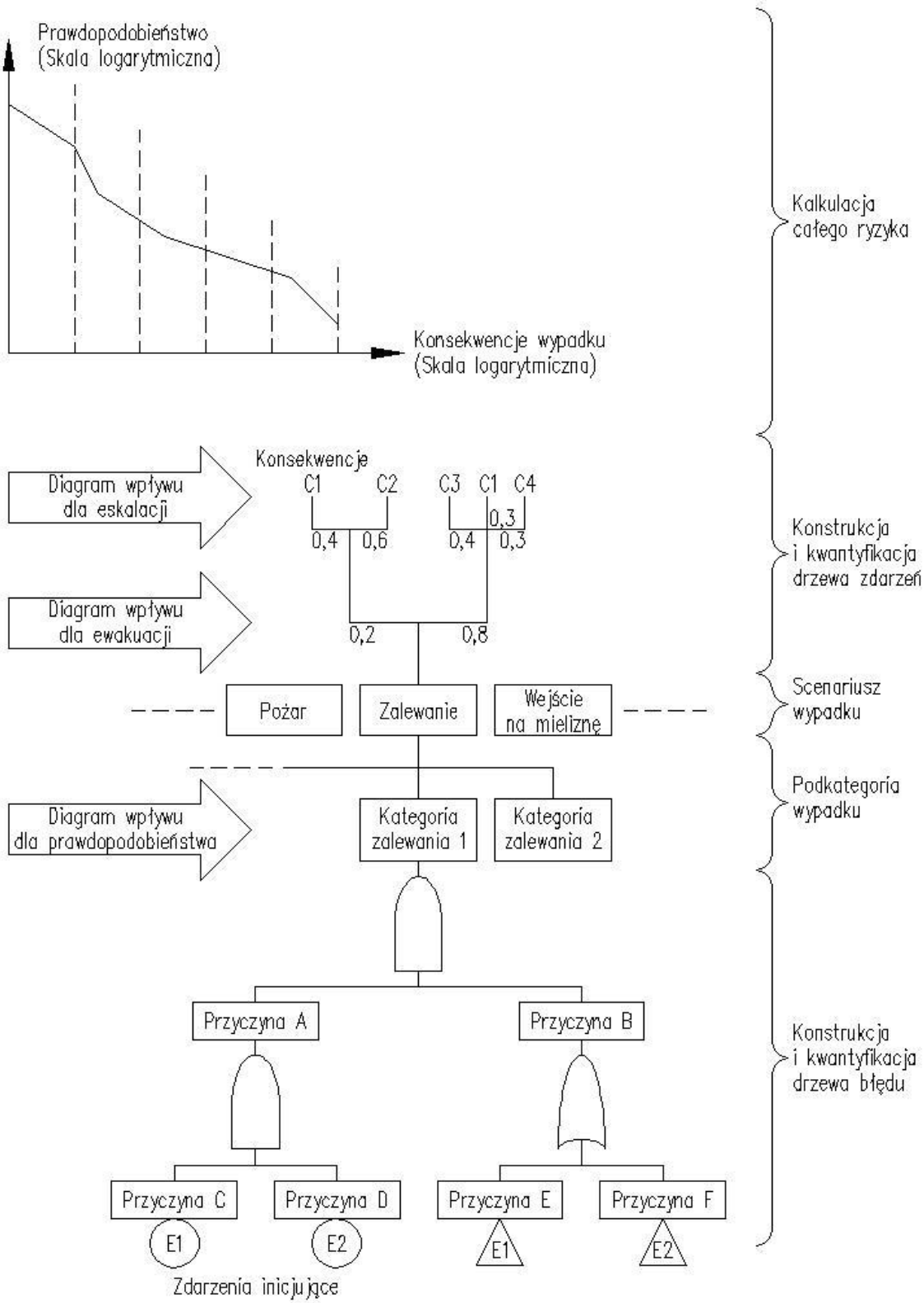
Rys. 14 Wykres krzywej F – N dla różnych typów statków [MSC-MEPC.2/Circ.5]

Diagram czynników wpływu RID (Regulatory Impact Diagram) umożliwia wyznaczenie i ocenę wpływu czynników prawnych, organizacyjnych, społecznych, itp., mających wpływ na poziom ryzyka (rys. 15).



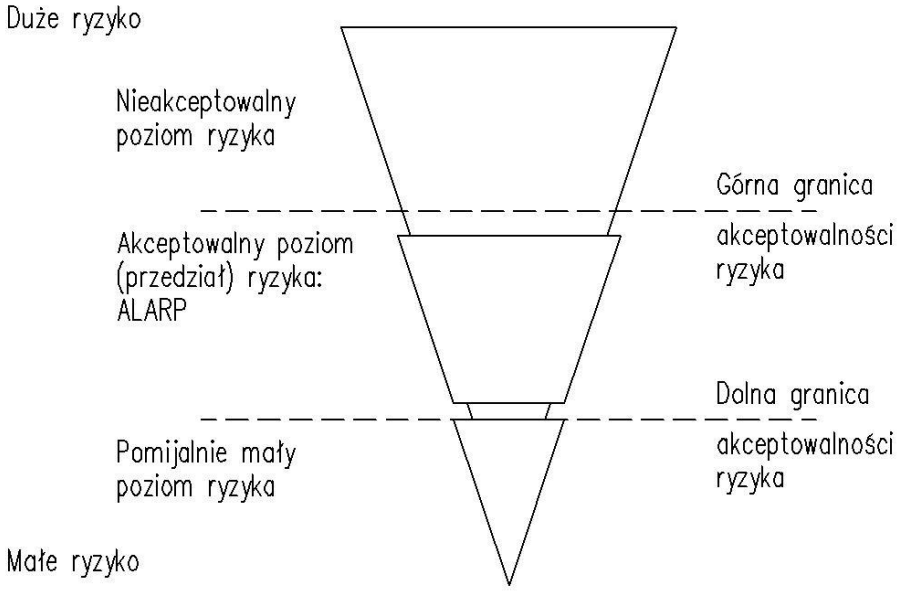
Rys. 15 Diagram RID [[Brandowski A., 2002] [Kristiansen S., 2005]

Pojęciowy wzór ryzyka w postaci RCT stosowany w FSA, przedstawiono na rysunku 16. W przykładzie wykorzystano technikę drzewa zdarzeń i drzewa błędów. Można stosować inne metody, jeśli są odpowiednie.



Rys. 16 Proces kwantyfikacji szacowania ryzyka często wykorzystywany w FSA [Kristiansen S., 2005] [MSC/Circ.1023 MEPC/Circ.392]

Kryteria akceptowalności ryzyka [Młyńczak M., 1997] dla ludzi i mienia wyrażane są spodziewaną liczbą wypadków śmiertelnych w ciągu roku. Przy czym indywidualne kryteria akceptowalności ryzyka różnią się od społecznych. Te ostatnie odnoszą się do zespołów ludzkich i są, co najmniej o rząd wartości wyższe niż indywidualne poziomy akceptowalności (rys. 17).



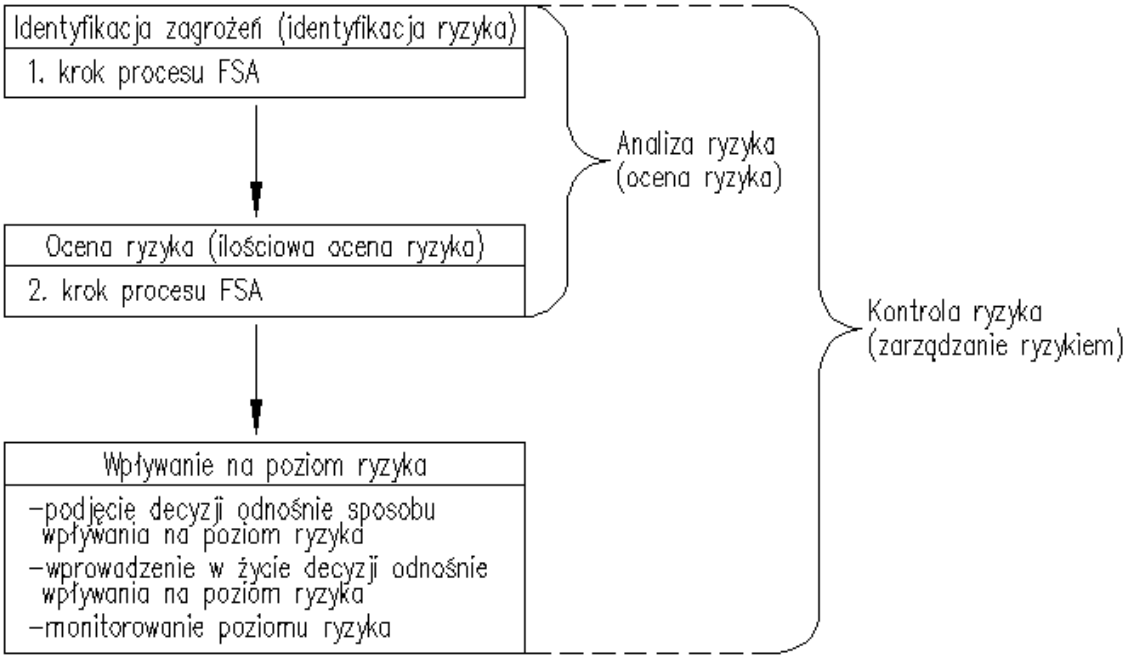
Rys. 17 Kryteria akceptowalności ryzyka dla ludzi i mienia [Kontovas Ch. A., Psaraftis H. N., 2009] [MSC-MEPC.2/Circ.5]

Przykład kryterium akceptowalnego ryzyka zgodnie z zaleceniami IMO przedstawiono w tabeli 16.

Tabela 16 Ilościowa ocena ryzyka [MSC-MEPC.2/Circ.5]

Parametr decyzyjny		**Kryteria akceptowalności**	
		Dolna granica dla obszaru ALARP	**Dolna granica dla obszaru ALARP**
		Pomijalne ryzyko ofiar na rok	**Maksymalne tolerowane ryzyko ofiar na rok**
Ryzyko Indywidualne	**Dla załogi**	10^{-6}	10^{-3}
	Dla pasażerów	10^{-6}	10^{-4}
	Dla osób trzecich, obsługi nabrzeży	10^{-6}	10^{-4}
	Wartości docelowe dla nowych statków	10^{-6}	**Powyżej wartości redukowanej przez jeden z wymaganych rozmiarów**
Ryzyko społeczne	**Dla grup wyżej wymienionych osób**	**Dostarczane po użyciu parametrów ekonomicznych według MSC 72/16**	

Na rysunku 18 przedstawiono zadania, identyfikujące ogólne pojęcie kontroli ryzyka. Obejmują one realizację zagadnień: identyfikacja zagrożeń, ocena ryzyka, podjęcie decyzji dotyczącej, w jaki sposób można obniżyć i kontrolować poziom ryzyka.



Rys. 18 Kontrola ryzyka [Morgaś W., Specht C., Urbański J., 2008]

Końcowym elementem szacowania ryzyka jest uzyskanie informacji definiujących identyfikację obszarów wysokiego ryzyka.

3.4 Opcje kontroli ryzyka

Celem kroku trzeciego jest skuteczny i praktyczny system opcji kontroli ryzyka zawierający następujące elementy:

- skupienie się na obszarach ryzyka wymagających kontroli,
- identyfikacje potencjalnych opcji sterowania ryzykiem,
- ocenę skuteczności RCM (redukująca ryzyko braku oceny kroku 2),
- pogrupowanie RCM do praktycznych grup nadzorujących.

Identyfikacja ryzyka ma na celu zaprezentowanie efektów analizy w kroku 2 tak, aby skupiono się na obszarach najbardziej potrzebujących kontroli ryzyka. Główne aspekty w celu wykonania oceny tego podsumowania to:

- niedopuszczalny poziom ryzyka,
- ryzyko wewnątrz obszaru ALARP,
- wysokie prawdopodobieństwo wystąpienia wypadku,

- wysoki poziom ciężkości konsekwencji wypadku.

Wyznacza się RCM przyporządkowując im odpowiednie atrybuty oraz określone łańcuchy zdarzeń. Wskazują one na sposoby sterowania ryzykiem
i dzieli się je na następujące kategorie:

A. dotyczące sposobu redukcji ryzyka,
B. dotyczące wymaganego działania,
C. dotyczące możliwości realizowania danego działania.

Łańcuchy zdarzeń umieszczają poszczególne RCM i są wyrażone w następujący sposób:

Czynniki przypadkowe → Niepowodzenie → Okoliczności → wypadek →konsekwencje

RCM powinny być ukierunkowane na jedno lub więcej z następujących zagadnień:

- redukcja częstotliwości niepowodzeń przez lepsze zaprojektowanie, procedury, szkolenia itp.,
- złagodzenie skutków niepowodzeń, zalecenie niedopuszczania do wypadków,
- łagodzenie okoliczności, w których mogą następować niepowodzenia,
- łagodzenie konsekwencji wypadków.

Podsumowanie kroku trzeciego powinno zawierać następujące elementy:

- ocenę RCO w skuteczności redukcji ryzyka,
- listę jednostek organizacyjnych, na które będą miały wpływ poszczególne RCO.

Celem metod sterowania ryzykiem jest:

- przedstawienie możliwych sposobów zwiększenia udziału infrastruktury nawigacyjnej w kontroli ryzyka dla ruchu statków na obszarach morskich i śródlądowych,
- ocenienie przedstawionych sposobów zwiększenia udziału infrastruktury nawigacyjnej w kontroli ryzyka dla ruchu statków z punktu widzenia efektywności tych sposobów w zmniejszaniu ryzyka.

Wobec oceny udziału infrastruktury nawigacyjnej Systemu Monitoringu Ruchu Statków, Informacji i Wspomagania Nawigacji w kontroli ryzyka dla ruchu statków ustalenie metod kontroli ryzyka polega na:

- ustaleniu ryzyka poszczególnych rodzajów zagrożeń (poszczególnych rodzajów wypadków morskich),
- ustaleniu opcji kontroli ryzyka, tj. sposobów obniżenia ryzyka (zmniejszenia zagrożeń).

Zalecane środki bezpieczeństwa (metody kontroli ryzyka) mają na celu poprawę życia na morzu w sposób opłacalny, zostały zidentyfikowane przez multidyscyplinarny zespół ekspertów. Następujące RCO są wskaźnikami określanymi dla dalszej oceny FSA, ale nie zawsze są wykorzystywane:

- osłonięty obszar zbiórek i obszar, na którym znajdują się łodzie ratunkowe (SMA),
- poziom alarmu do monitorowania stopnia wzrostu poziomu wody we wszystkich ładowniach i forpiku (LA),
- indywidualny kombinezon ratunkowy dla wszystkich osób znajdujących się na statku (IS),
- łódź swobodnego spadku (FF),
- morski system ewakuacyjny dla tratw ratunkowych (MES),
- dodatkowy przeszkolony personel.

3.4.1 Metody analizy skutków

Tak jak usterka może być przyczyną różnych niebezpieczeństw, tak i niebezpieczeństwo, w zależności od konkretnych warunków eksploatacyjnych, może być przyczyną różnego rodzaju następstw. Dlatego przy analizie ryzyka każde niebezpieczeństwo należy analizować z punktu widzenia wszystkich możliwych następstw, przy czym prawdopodobieństwo wystąpienia jednakowych następstw będzie różne i zależne od warunków eksploatacyjnych (na przykład od natężenia ruchu).

Ogólnie niebezpieczeństwa związane z używaniem (eksploatacją) systemu mogą prowadzić do różnorakich następstw, a mianowicie:

- kolizja jednostek,
- kontakt z nabrzeżem,
- kolizja z obiektem nawigacyjnym,
- awaria techniczna,
- wejście jednostki na mieliznę,
- itp.

Następstwem wypadku mogą być szkody materialne, narażenie ludzi lub zanieczyszczenie środowiska. Jeżeli istnieje realna groźba śmierci człowieka lub wyraźnego uszczerbku jego zdrowia, wtedy materialne szkody mogą być pomijalne i nie należy ich brać pod uwagę przy analizie ryzyka. Narażenie człowieka można określić ilością przypadków śmiertelnych.

Głównymi metodami analizy skutków wypadków jest metoda FMEA i metoda HAZOP. Analiza skutków wypadku, powinna rozpocząć się od analizy samego wypadku, która powinna składać się z:

- opis wypadku:
  - typ wypadku,
  - rezultat i konsekwencje,
- tło:
  - sytuacja techniczna,
  - opis statku,
  - załoga,
- wyjaśnienie:
  - sekwencja wypadku,
  - przypadkowy czynnik na indywidualnym poziomie,
  - przypadkowy czynnik na poziomie organizacyjnym.

Następnymi elementami powinny być: rekonstrukcja zdarzeń np.: w formie symulacji, alternatywny model wypadku, oficjalne dochodzenie, analiza czynnika ludzkiego, raport z wypadku.

Raportowanie wypadku powinno odbywać się za pomocą formularzy przygotowanych przez IMO, a umieszczonych w rezolucjach i okólnikach. W przypadku żeglugi śródlądowej w Polsce zgodnie z Dz.U. 2002 Nr 17 poz. 161.

Stworzenie sekwencji wypadku i jej analiza na podstawie informacji zebranych w trakcie badania wypadku umożliwia ustalenie przyczyn wypadku. Stosując odpowiednie listy kontrolne pozwalające szczegółowo prześledzić daną grupę przyczynową i ustalić przyczyny pośrednie, które doprowadziły do powstania wypadku przy pracy. Przykład analizy przyczyn i skutków wypadków zaprezentowano w tabeli 17.

Tabela 17 Analiza skutków wypadków

Czynnik	Razem	Skutki	Wejście na mieliznę	Kolizja jednostki	Ranny człowiek	Kontakt z nabrzeżem	Śmierć człowieka
Awaria techniczna	4		1	0	2	1	0
Błąd człowieka	34		10	7	1	13	3
Warunki pogodowe	3		1	2	0	0	0
Nieznany	0		0	0	0	0	0
Kolizja jednostek	1		0	0	0	1	0
Razem	42		12	9	3	15	3

Ustalone przyczyny wypadku stanowią podstawę do dyskusji nad zaleceniami powypadkowymi. W wyniku analiz zebranych informacji, ustalonej sekwencji zdarzeń, prawdopodobnych przyczyn i okoliczności wypadku zespół powypadkowy powinien zaproponować działania profilaktyczne. W tworzeniu propozycji działań profilaktycznych należy pamiętać o odniesieniu do ryzyka zawodowego na danym stanowisku pracy lub podobnych stanowiskach pracy.

3.5 Analiza efektywności ekonomicznej

Szacowanie kosztów i korzyści CBA ma identyfikować i porównywać, korzyści i koszty powiązane z wprowadzeniem RCO.

CBA może wykonywać następujące zadania:

- rozważenie opisanego ryzyka z kroku drugim, pod względem częstotliwości i konsekwencji, ustalenie definicji podstawowych wypadków pod względem rozważanego poziomu ryzyka,
- uporządkowanie RCO, opisanych w kroku trzecim, ułatwienie zrozumienia kosztów i korzyści wynikających z przyjęcia RCO,
- prawidłowe oszacowanie kosztów i korzyści dla RCO,
- szacowanie i porównanie oszczędności każdej opcji, pod względem kosztów jednostkowych redukcji ryzyka, przez podział kosztów netto przez osiągniętą redukcję ryzyka taką jak rezultat połączenia opcji,

- wykonanie rankingu RCO na podstawie kosztów i korzyści w celu ułatwienia podejmowania decyzji decydentom w kroku piątym.

Wszystkie potencjalne koszty i korzyści powiązane z każdym istotnym RCO/RCM powinny być zidentyfikowane w procesie CBA. Ważne jest znalezienie potencjalnych negatywnych skutków podczas wdrażania RCO do systemu. Wdrożenie opcji kontroli ryzyka może zawierać dużo różnych typów kosztów i korzyści. Typowe koszty mogą obejmować następujące elementy:

- kapitał/ koszty inwestycji,
- koszty zamówienia i instalacji,
- koszty operacyjne lub powtarzające się,
- koszt robocizny,
- utrzymanie,
- szkolenia,
- inspekcje, certyfikaty i audyty,
- koszty związane z czasem przestoju lub opóźnienia.

Istnieją również koszty niepowiązane z wprowadzeniem w życie środków bezpieczeństwa i poprzez unikanie tych kosztów, pojawiają się korzyści wynikające z wprowadzenia w życie tych środków.

Korzyści wynikające z wprowadzenia RCO na statku:

- redukcja liczby rannych lub wypadków,
- redukcja wypadków związanych ze statkiem, włączając w to uszkodzenie lub utratę ładunku, uszkodzenie kadłuba,
- redukcja zanieczyszczeń środowiska, wliczając w to koszt usunięcia zanieczyszczeń,
- podniesienie dostępności kapitału;
- redukcja kosztów związanych z przeprowadzeniem akcji poszukiwania, ratownictwa oraz ratowaniem mienia lub statku,
- redukcja kosztów ubezpieczenia.

W procesie identyfikacji kosztów i korzyści powiązanych z systemem należy uważać, aby nie policzyć czegoś podwójnie. Podwójne liczenie może spowodować zaburzenie równowagi w analizie CBA i może zwiększyć niepewność w ocenie całości.

Dla każdej opcji kontroli ryzyka powinny być określone koszty i zyski. Należy również zdefiniować i porównać efektywność kosztów za pomocą wyznaczonych

wskaźników takich jak GrossCAF i NetCAF. Wskaźniki te oblicza się z następujących wzorów [Kopacz Z., Morgaś W., Urbański J., 2006]:

$$GrossCAF = \frac{\Delta C}{\Delta R} \tag{3.1}$$

i

$$NetCAF = \frac{\Delta C - \Delta B}{\Delta R} = GrossCAF - \frac{\Delta B}{\Delta R} \tag{3.2}$$

gdzie:

ΔC – koszt RCO statku;

ΔB – ekonomiczna korzyść rezultatu wdrożenia opcji RCO statku;

ΔR – redukcja ryzyka, czyli liczba osób, które uniknęły wypadku dzięki RCO.

Koszty powinny zostać odniesione do cyklu życia obiektu i obejmować koszty wytworzenia lub nabycia oraz koszty eksploatacji, szkoleń, inspekcji, certyfikacji, itd. Korzyści powinny ujmować redukcję kosztów towarzyszących nieszczęśliwym wypadkom, obejmującym wypadki z ludźmi, szkody w środowisku i ich usuwanie, ubezpieczenia od odpowiedzialności, naprawy statku itd. oraz korzyści ze wzrostu średniego czasu życia statku.

Ogólnymi kryteriami używanymi do oszacowania oszczędności wynikających z redukcji ryzyka są NetCAF i GrossCAF. Jest kilka zasad używania kryteriów NetCAF i GrossCAF:

- obserwacja chęci do zapłaty w celu zapobiegania ofiarom,
- obserwacja wcześniejszych decyzji i wliczonych w nie kosztów,
- rozważanie czynnika społecznego takiego jak LQI.

Kryteria QALY lub DALY mogą być użyte do oceny ryzyka jedynie, gdy obejmują urazy i/lub zły stan zdrowia, ale nie ofiary. Kryteria te mogą być zaczerpnięte z kryteria GrossCAF, przez przypuszczenie, że jedna uratowana ofiara sugeruje zysk 35 QALY [19]:

QALY = GrossCAF (pokrycie urazu/zły stan zdrowia)/35 = US$42,000.

Metodologia ICAF (Implied Cost of Averting a Fatality) szacuje się możliwość osiągnięcia redukcji ryzyka pod względem kosztów. Jest to główna metoda wykorzystywana w FSA w celu oszacowania kosztów i korzyści, opisana wzorem 3.3.

$$ICAF = \frac{roczny\ koszt\ pomiaru\ netto}{redukcja\ ilość\ wypadków\ śmiertelnych} \tag{3.3}$$

Oceny kosztów i korzyści polega na [Kopacz Z., Morgaś W., Urbański J., 2006]:

- ustaleniu kosztów i korzyści realizacji każdej opcji kontroli ryzyka,
- ustaleniu efektywności kosztów realizacji każdej opcji kontroli ryzyka,
- przedstawieniu opcji kontroli ryzyka według wielkości kosztów i zysków, tj. poprzez wyeliminowanie opcji kontroli ryzyka, których efektywność kosztów jest najniższa.

Dla oceny kosztów i zysków stosuje się ogólnie stosowane metody i techniki analizy kosztów i zysków, tj. metody analizy finansowej i analizy ekonomicznej.

Koszty powinny obejmować cały okres trwania procesu i zawierać: koszty początkowe (nakłady inwestycyjne) oraz koszty eksploatacji, szkoleń, inspekcji, nadzoru i certyfikacji, a także ewentualnej likwidacji opcji itp. koszty działania i utrzymania.

Zyski natomiast powinny uwzględniać: zyski ze zmniejszenia wypadków śmiertelnych, inwalidztwa, szkód środowiska morskiego i oczyszczania go, kompensacji zobowiązań pieniężnych względem osób trzecich, a także zyski z przedłużenia średniego czasu eksploatacji statków itp.

Do oceny efektywności kosztów wykorzystuje się ogólnie stosowane wskaźniki unikania wypadków śmiertelnych:

- koszt netto uniknięcia wypadku śmiertelnego,
- koszt brutto uniknięcia wypadku śmiertelnego.

Należy pamiętać, że w kroku 4, nie ma potrzeby i nie uwzględnia się wpływu „czynnika ludzkiego” na ocenę kosztów i zysków. W wyniku realizacji kroku 4 procesu FSA należy przedstawić:

- koszty i zyski (analizę finansową i analizę ekonomiczną) realizacji każdej opcji kontroli ryzyka ustalonej w kroku 3 procesu FSA,
- koszty i zyski tych podmiotów, których proponowane zmiany dotyczą najbardziej;
- efektywność kosztów realizacji metod kontroli ryzyka, wyrażoną za pomocą wskaźników efektywności kosztów.

Elementem wyjściowym z kroku czwartego metodologii FSA jest:

- wykaz kosztów i korzyści dla każdego RCO,
- wykaz kosztów i korzyści dla zainteresowanych jednostek, które wywarły największy wpływ na omawiany problem,
- skuteczność kosztów wyrażona za pomocą odpowiednich wskaźników.

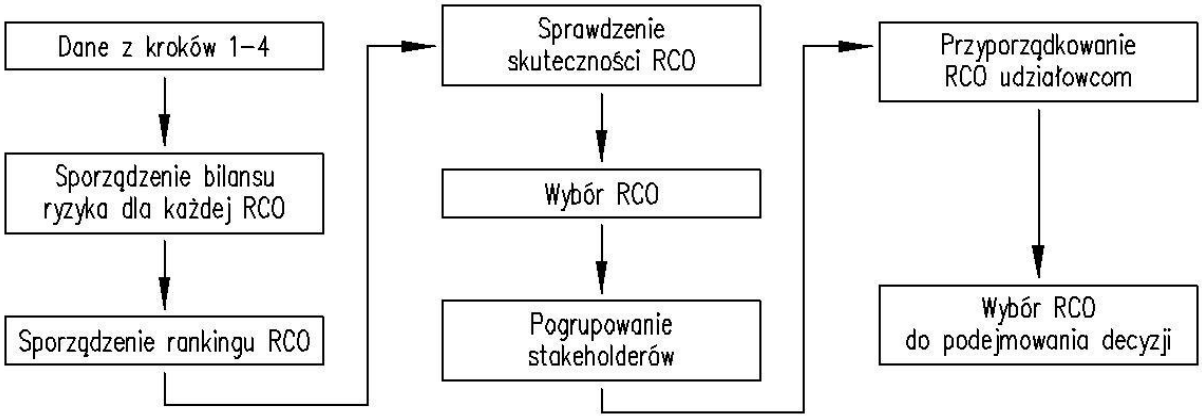
3.6 Zalecenia eksploatacyjne

Metodyka FSA jest elementem wspomagającym podejmowanie decyzji z uwzględnieniem ryzyka. Podczas całego procesu można wyodrębnić obszary zwiększonego ryzyka, oszacować koszty związane z ryzykiem, oraz koszty i korzyści wynikające z obniżenia ryzyka. Należy ustalić zalecenia dla procesu decyzyjnego dotyczącego bezpieczeństwa morskiego w zakresie nowych, względnie znowelizowanych unormowań organizacyjno – prawnych.

Ostatnim elementem procesu FSA, jest przygotowanie zaleceń dla procesu decyzyjnego - ustalenie zaleceń dla decydentów (decydenta), którzy zlecili przeprowadzenie Formalnej Oceny Bezpieczeństwa (FSA) danego problemu.

Zalecenia powinny być przedstawione w postaci pozwalającej w sposób przejrzysty i zrozumiały prześledzić wszystkie kroki procesu FSA. Szczególnie zasady ustalenia metod kontroli ryzyka, oceny kosztów i zysków realizacji tych metod, a także zidentyfikować te metody kontroli ryzyka, które zapewniają utrzymanie poszczególnych rodzajów zagrożeń na akceptowalnym poziomie ryzyka, to znaczy na poziomie możliwym do zaakceptowania w praktyce.

Proces postępowania w trakcie wydawania rekomendacji eksploatacyjnych przedstawiono na rysunku 19.



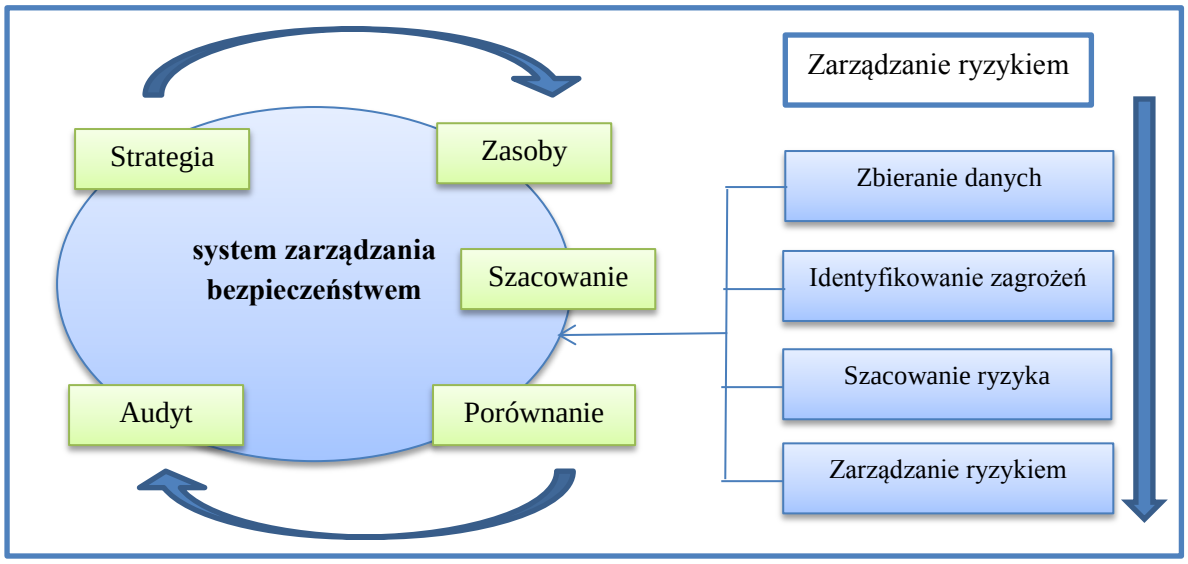
Rys. 19 Algorytm procesu wydawania rekomendacji dla decydentów [Brandowski A., 2002]

Podsumowanie zaleceń eksploatacyjnych powinno obejmować:

- obiektywne porównanie alternatywnych możliwości, opartych na potencjalnym zmniejszeniu ryzyka i skuteczności kosztów, w obszarach gdzie ustawodawstwo albo zasady powinny być przeanalizowane lub rozwijane,
- opinia zwrotna na informacje po przeglądzie otrzymanych rezultatów we wcześniejszych krokach.

4. Narzędzia stosowane do zarządzania ryzykiem

Systemy zarządzania bezpieczeństwem, oparte na metodzie oceny ryzyka, są najbardziej zaawansowanymi narzędziami do poprawy bezpieczeństwa oraz kontroli różnych obszarów ludzkiej działalności (rys. 20). Dane statystyczne dotyczące wypadków statków, mogą być wykorzystywane do monitorowania i zarządzania bezpieczeństwem [Krystek R., 2009].



Rys. 20 Powiązanie systemu zarządzania bezpieczeństwem z procedurą zarządzania ryzykiem [Krystek R., 2009]

Metody inżynierii ruchu morskiego wykazują różną przydatność do wyznaczania prawdopodobieństwa zderzeń statku oraz zróżnicowanie ich stosowalności w zależności od akwenu, na którym odbywa się żegluga. Zakres stosowalności poszczególnych metod, ich względną dokładność oraz pracochłonność przeprowadzania badań podano w tabeli. Nie ma metody uniwersalnej i w praktyce stosuje się najbardziej odpowiednią do rozwiązania konkretnego problemu.

Tabela 18 Ograniczenia i zakres stosowalności metod szacowania prawdopodobieństwa wypadków nawigacyjnych [Gucma L., 2009]

Rodzaj metody	**Akwen**	**Dokładność**	**Koszt**	**Uwagi**
Analityczna	bez ograniczeń	mała	mały (1)	zwykle wymagają założeń empirycznych
Empiryczna	bez ograniczeń	średnia/mała	mały (1)	konieczność przeprowadzenia eksperymentu
Statystyczna	bez ograniczeń	średnia/mała	średni (1)	duży błąd prognozy
Badania symulacyjne				możliwość badania systemów nieistniejących
Symulacja ruchu statku w czasie rzeczywistym	portowy	duża	duży (10)	najistotniejsza z przedstawianych metod
Symulacja ruchu statku w czasie przyspieszonym	portowy	mała	średni (4)	wymaga dokładnego modelu człowieka
Symulacja strumienia ruchu statków	portowy, przybrzeżny	średnia	średni (2)	wykorzystywana w celu uwzględnienia wielu statków
Metody symulacyjne uogólnione	portowy	średnia	mały (1)	ma charakter empiryczny
Badania rzeczywiste bierne				badanie tylko systemów istniejących
Techniki GPS	portowy, przybrzeżny	0,1 do 3 m	duży (2)	nieograniczony zasięg
Laserowe	portowy	0,1 m	średni (2)	ograniczony zasięg
Fotogrametryczne	portowy	0,1 do 1 m	mały (1)	ograniczony zasięg
Radarowe	portowy, przybrzeżny	>15 m	duży (2)	zasięg do kilku kilometrów

* w nawiasach podano minimalną liczbę osób uczestniczących w badaniach.

Formalna ocena bezpieczeństwa jest procesem stworzonym na podstawie zaleceń IMO w celu rozwinięcia lub wprowadzenia nowych rozwiązań, które przyczynią się do podniesienia poziomu bezpieczeństwa. Zamierza się użyć jej jako narzędzie w wykonawczym procesie „jedna droga zapewniająca przeciwdziałanie katastrofie". FSA jest adresowany dla konkretnej kategorii statków lub obszarów nawigacyjnych, jak również może być

zastosowany do konkretnej morskiej lub śródlądowej kwestii bezpieczeństwa w celu identyfikowania metod umożliwiających kontrolę i redukcję ryzyka.

Procedura zarządzania ryzykiem to wielostopniowa racjonalna metodologia mająca na celu zwiększenie bezpieczeństwa żeglugi nakierowana na ochronę życia i zdrowia ludzi, środowiska oraz mienia. Procedura polega na analizie ryzyka, szacowaniu ryzyka i podjęciu decyzji o jego akceptowalności oraz jego kontroli. Procedura składa się z następujących etapów:

- identyfikacja zagrożeń (dane wszystkich możliwych scenariuszy zdarzeń związanych z wypadkiem z potencjalnymi przyczynami i skutkami),
- analiza ryzyka (ocena czynników ryzyka),
- opcje kontroli ryzyka (opracowanie systemu wykorzystywanego do kontroli i redukcji zidentyfikowanego ryzyka),
- analiza efektywności ekonomicznej (ocena efektywności poniesionych kosztów w odniesieniu do redukcji ryzyka),
- rekomendacje do podejmowania decyzji (zestawienie informacji o niebezpieczeństwach, ryzyku, potencjalnych skutkach i kosztach potencjalnych działań w celu kontroli i redukcji ryzyka).

W uproszczeniu można to zredukować do następujących pytań:

- Co może pójść nie tak? = identyfikacja niebezpieczeństw,
- Jak bardzo źle i jak bardzo prawdopodobne jest, że stanie się coś złego? = ocena czynników ryzyka,
- Czy działania mogą być ulepszone? = opcje kontroli ryzyka,
- Ile to będzie kosztowało i o ile poprawi to działanie systemu? = analiza efektywności ekonomicznej,
- Jakie działanie powinny zostać podjęte? = rekomendacje do podejmowania decyzji.

Zastosowanie FSA może mieć szczególnie istotne znaczenie dla propozycji zmian środków regulacyjnych, które mogą mieć daleko idące konsekwencje finansowe oddziaływujące na przemysłu morski, śródlądowy lub administrację.

Proponowana procedura zarządzania bezpieczeństwem nawigacji w żegludze śródlądowej to wieloetapowy iteracyjny algorytm, składający się z następujących kroków:

- ustalenie czynników ryzyka bezpieczeństwa w powiązaniu z rodzajem wypadku, akwenu nawigacyjnego i rozważanego statku,
- definicja i identyfikacja zagrożeń,

- stworzenie baz danych dotyczących strumieni ruchu statków,
- stworzenie bazy danych wypadków i incydentów na podstawie danych z wypadków zgłoszonych i na podstawie ankiet przeprowadzony wśród armatorów i załóg jednostek,
- określenie akceptowalności ryzyka na poszczególnych poziomach akceptowalności ryzyka społecznego i ekonomicznego dla danych poziomów ryzyka,
- ocena ryzyka z uwzględnieniem baz danych dotyczących wypadków,
- analiza incydentów w celu poprawy oceny ryzyka,
- analiza ryzyka (porównanie obecnego poziomu dopuszczalnego ryzyka z poziomami tolerancji),
- podejmowanie decyzji dotyczących konieczności wprowadzenia zmian w systemie,
- wprowadzenie niezbędnych zmian w systemie,
- zastosowanie stochastycznego modelu bezpieczeństwa nawigacji, celem ustalenia w jaki sposób proponowane zmiany wpływają na ryzyko i bezpieczeństwo,
- praktyczne wdrożenie koniecznych zmian i opcji kontroli ryzyka,
- powtórzenie procedury do czasu osiągnięcia zadowalających wyników,
- okresowe (np. roczne) kontrole ryzyka, w oparciu o podane czynniki bezpieczeństwa.

4.1 Przykład zastosowania formalnej metodologii oceny bezpieczeństwa żeglugi do oceny systemu zarządzania bezpieczeństwem morskim dla Zatoki Pomorskiej

Celem projektu jest stworzenie systemu formalnej oceny bezpieczeństwa żeglugi dla Zatoki Pomorskiej zgodnie z zaleceniami IMO.

Metody i techniki zastosowane do przeprowadzenia analizy:

- technika HAZOP,
- technika FMEA,
- analiza Drzewa Błędów,
- analiza Drzewa Zdarzeń,
- krzywa F-N,
- potencjalne ryzyko utraty życia,
- drzewo rozkładu ryzyka,
- łańcuch zdarzeń.

Podstawą analizy są dane uzyskane z Urzędu Morskiego w Szczecinie i Urzędu Morskiego w Świnoujściu, dotyczące wypadków na Zatoce Pomorskiej i w Świnoujściu oraz intensywność ruchu statków na tym akwenie w latach 2002 – 2007.

Informacje dotyczące kosztów pozyskane zostały z Internetu i z Gdyńskiej Stoczni. Dane mają charakter wyłącznie poglądowy i mogą się one znacznie różnić od rzeczywistości.

Identyfikacja zagrożeń

Identyfikację zagrożeń przeprowadzono z uwzględnieniem poszczególnych etapów załadunku i wyładunku odbywających się przy kei, operacji w porcie, żeglugi na wodach ograniczonych i przybrzeżnych, a także podczas podróży morskiej.

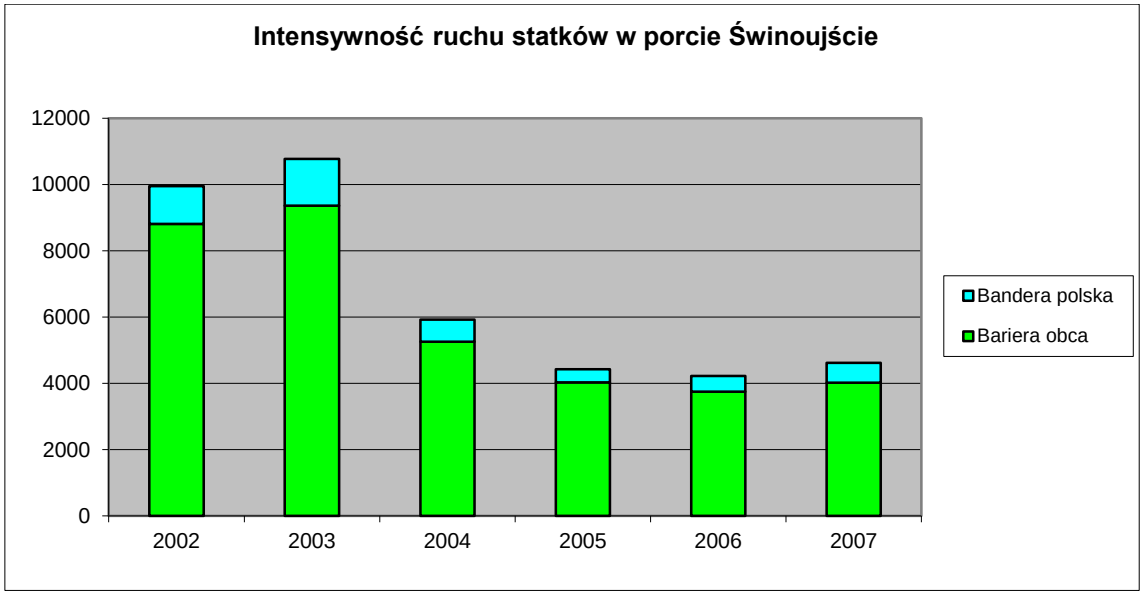
Liczba statków wchodzących do portu w Świnoujściu zestawiono w tabeli 19.

Tabela 19 Intensywność ruchu statków w porcie w Świnoujściu

Rok	2002	2003	2004	2005	2006	2007	Razem
Bandera polska	1141	1413	663	391	472	600	4680
Bandera obca	8809	9362	5257	4035	3749	4019	35231
Razem	9950	10775	5920	4426	4221	4619	**39911**

Na podstawie danych zawartych w tabeli 19 można zauważyć spadek ilości zawinięć statków do portu w Świnoujściu. W 2002 i 2003 roku intensywność wynosiła około 10 000.

W roku 2004 spadła o około 40%. Od roku 2005 do 2007 liczba jednostek wynosi około 4 500. W badanym okresie czasu intensywność ruchu jednostek wyniosła 39 911.



Rys. 21 Wykres intensywności ruchu statków w porcie w Świnoujściu

Na rysunku 21 przedstawiono wykres intensywności ruchu statków w porcie Świnoujście w latach 2002 – 2007 na podstawie danych zawartych w tabeli 19. Jest to wykres kolumnowy prezentujący liczbę zawinięć z podziałem na lata w badanym okresie czasu. W jednej kolumnie znajdują się dane dotyczące statków pod banderą polską i obcą.

Rodzaje wypadków i ich liczbę występowania w latach 2002 – 2003 na Zatoce Pomorskiej i w porcie w Świnoujściu przedstawiono w tabeli 20.

Tabela 20 Rodzaje i liczba wypadków na Zatoce Pomorskiej i w porcie w Świnoujściu

Rok	**Typy wypadków**							
	Pożar	**Wejście na mieliznę**	**Awaria techniczna**	**Kolizja jednostek**	**Wypadek z udziałem człowieka**	**Kontakt z nabrzeżem**	**Kolizja z obiektem nawigacyjnym**	**Razem wypadków w roku**
2002	0	2	0	1	1	1	1	6
2003	1	2	0	2	0	1	1	7
2004	0	0	2	1	2	2	0	7
2005	0	5	2	1	1	4	0	13
2006	0	2	0	1	0	2	0	5
2007	0	1	2	3	2	5	1	14
Razem	1	12	6	9	6	15	3	**52**

W tabeli 21 zestawiono dane dotyczące wypadków występujących na badanym akwenie w latach 2002-2007. W tym czasie wystąpiły 52 wypadki na 39 911 zawinięć (dana z tabeli 19). Najczęściej występuje wypadek typu kontakt z nabrzeżem (15 wypadków). Kolejnym najczęściej występującym wypadkiem jest wejście na mieliznę (12 wypadków). Pozostałe typy wypadków występujących na Zatoce Pomorskiej i w porcie Świnoujście to: kolizja jednostek (9 wypadków), awaria techniczna (6 wypadków), wypadek z udziałem człowieka (6 wypadków), kolizja z obiektem nawigacyjnym (3 wypadki) i pożar (1 wypadek).

Na podstawie danych zawartych w tabeli 20 można zauważyć, że liczba wypadków w badanym okresie przedstawia tendencję wzrostową i stanowi przeciwieństwo do spadkowej tendencji zawinięć statków.

Przyczyny i skutki wypadków zidentyfikowano z wykorzystaniem metody HAZOP (tabela 21).

Tabela 21 Analiza HAZOP

HAZOP								
L.p.	**Słowo przewodnie**	**Odchylenia**	**L.p.**	**Przyczyny**	**L.p.**	**Skutki**	**Poziom ryzyka**	**Zalecenia**
1.	Brak	Zatrzymanie statku	1.	Awaria techniczna	1.	Niezdolny do dalszej żeglugi	Wysoki	Częściej i dokładniej wykonywane kontrole urządzeń. Zainstalowanie dodatkowych czujników kontrolujących stan urządzeń.
					2.	Wejście na mieliznę	Wysoki	
					3.	Ranny człowiek	Wysoki	
					4.	Kolizja z obiektem nawigacyjnym	Mały	
					5.	Kontakt z nabrzeżem	Średni	
			2.	Błąd człowieka	1.	Wejście na mieliznę	Wysoki	Kontrola kwalifikacji i umiejętności załogi. Dodatkowe szkolenia w zakresie bezpieczeństwa.
					2.	Kolizja jednostek	Wysoki	
					3.	Ranny człowiek	Wysoki	
					4.	Kolizja z obiektem nawigacyjnym	Mały	
					5.	Kontakt z nabrzeżem	Średni	
					6.	Śmierć człowieka	Wysoki	
			3.	Warunki pogodowe	1.	Wejście na mieliznę	Wysoki	Zachowanie szczególnej ostrożności w trakcie pogorszenia warunków pogodowych
					2.	Kolizja jednostek	Wysoki	
			4.	Nieznana	1.	Pożar	Wysoki	Zainstalowanie dodatkowych czujników. Zachowanie szczególnej ostrożności.
			5.	Kolizja jednostek	1.	Kontakt z nabrzeżem	Wysoki	Zachowanie szczególnej ostrożności.

Zidentyfikowane niebezpieczeństwa zestawiono w rankingu. Ranking przeprowadzono stosując plan indeksowy ze względu na częstość i wagę zdarzenia z wykorzystaniem techniki FMEA (tabela 22).

Tabela 22 Ranking zagrożeń wg FMEA

Rodzaj zagrożenia	Ryzyko wystąpienia [R]	Skutki [Z]	Możliwość wykrycia [W]	Ranking zagrożenia [P]
Pożar	5	10	10	25
Wypadek z udziałem człowieka	2	10	10	22
Kontakt z nabrzeżem	4	7	9	20
Awaria techniczna	3	8	5	16
Kolizja z obiektem nawigacyjnym	2	5	9	13
Kolizja jednostek	4	8	1	13
Wejście na mieliznę	3	8	1	12

Z przeprowadzonego rankingu zagrożeń wynika, że najbardziej niebezpieczny jest pożar ze względu na jego skutki i możliwość wykrycia. Kolejnym bardzo niebezpiecznym wypadkiem jest wypadek z udziałem człowieka. Na pozostałych miejscach występują: kontakt z nabrzeżem, awaria techniczna, kolizja jednostek. Najmniej niebezpiecznym wypadkiem jest wejście na mieliznę.

Szacowanie ryzyka

Wynikiem identyfikacji niebezpieczeństwa jest zaprojektowana ogólna struktura modelu ryzyka. Po wybraniu istotnych kategorii związanych z wypadkami, dla każdego z nich opracowano model drzewa zdarzeń. Strukturę modelu stanowią dane dotyczące skutków i prawdopodobieństwa występowania wypadków (tabela 23 i tabela 24).

W tabeli 23 przedstawiono czynniki inicjujące wypadki i skutki tych wypadków na Zatoce Pomorskiej i w porcie Świnoujście w latach 2002 – 2007.

Najczęściej występującym czynnikiem powodującym wypadek był błąd człowieka (36 z 52 wypadków). Skutkami tego czynnika są: kontakt z nabrzeżem, wejście na mieliznę, kolizja jednostek, śmierć człowieka, kolizja z obiektem nawigacyjnym, ranny człowiek.

Kolejnym czynnikiem jest awaria techniczna (11 wypadków). Jej skutkami są: jednostka niezdolna do dalszej żeglugi, ranny człowiek, wejście na mieliznę, kolizja z obiektem nawigacyjnym, kontakt z nabrzeżem.

Tabela 23 Tabela przyczyn i skutków wypadków

Czynnik	Razem	Skutki							
		Niezdolny do dalszej żeglugi	Wejście na mieliznę	Kolizja jednostek	Ranny człowiek	Kolizja z obiektem nawigacyjnym	Pożar	Kontakt z nabrzeżem	Śmierć człowieka
Awaria techniczna	11	6	1	0	2	1	0	1	0
Błąd człowieka	36	0	10	7	1	2	0	13	3
Warunki pogodowe	3	0	1	2	0	0	0	0	0
Nieznany	1	0	0	0	0	0	1	0	0
Kolizja jednostek	1	0	0	0	0	0	0	1	0
Razem	52	6	12	9	3	3	1	15	3

Na trzecim miejscu znajdują się warunki pogodowe (3 wypadki), które spowodowały: kolizję jednostek i wejście na mieliznę.

Do najrzadziej występujących czynników powodujących wypadki, jakie miały miejsce na badanym akwenie w określonym czasie należą (po 1 wypadku): kolizja jednostek (której skutkiem był kontakt z nabrzeżem) i przyczyna nieznana (której skutkiem był pożar).

Tabela 24 Tabela częstości wystąpienia zdarzenia

Czynnik	Razem	Skutki							
		Niezdolny do dalszej żeglugi	Wejście na mieliznę	Kolizja jednostki	Ranny człowiek	Kolizja z obiektem nawigacyjnym	Pożar	Kontakt z nabrzeżem	Śmierć człowieka
Awaria techniczna	0,0002756	0,0001503	0,0000250	0	0	0,0000250	0	0,0000250	0
Błąd człowieka	0,0009271	0	0,0002505	0,0001753	0,0000250	0,0000751	0	0,0003257	0,0000757
Warunki pogodowe	7,5162E-05	0	0,0000250	0,0000501	0	0	0	0	0
Nieznany	2,5057E-05	0	0	0	0	0	0,0000250	0	0
Kolizja jednostek	2,5055E-05	0	0	0	0	0	0	0,0000250	0
Razem	0,0013279	0,0001503	0,0003006	0,0002255	7,5161E-05	0,0001002	2,5055E-05	0,0003758	7,5167E-05

W tabeli 24 przedstawiono czynniki powodujące wypadki, skutki wypadków i prawdopodobieństwo wystąpienia wypadków, które miały miejsce na Zatoce Pomorskiej i w porcie Świnoujście w latach 2002 – 2007. Największe prawdopodobieństwo ma wystąpienie wypadku typu kontakt z nabrzeżem, spowodowany przez błąd człowieka. Najmniejsze prawdopodobieństwo ma wystąpienia wypadku typu kontakt z nabrzeżem, spowodowany kolizją jednostek. Najbardziej prawdopodobnym czynnikiem powodującym wypadek był błąd człowieka, a najmniej prawdopodobny był wypadek spowodowany kolizją jednostek.

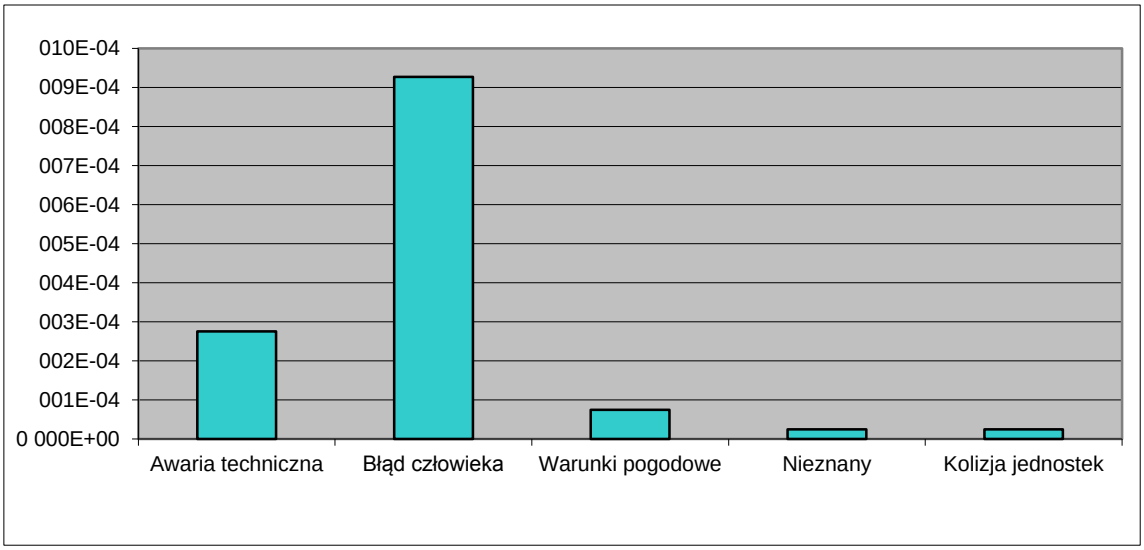
Dla zaprezentowanych wcześniej czynników i skutków wypadków utworzono wzory ryzyka jako modele drzewa zdarzeń. Zakładanie modeli konceptualnych może być przydatne dla identyfikacji i komunikacji z głównym elementem z ciągu wydarzeń.

Zaistniałe skutki dla każdego wypadku oceniono przez wykorzystanie metody drzewa zdarzeń. Drzewa zdarzeń zostały skonstruowane, po jednym dla każdego rodzaju scenariusza związanego z wypadkiem, opartym na pojęciowych modelach ryzyka. Dane zawarte w tabeli 25 mogą być używane jako częstości dla zdarzeń początkowych.

Tabela 25 Częstość występowania wypadków

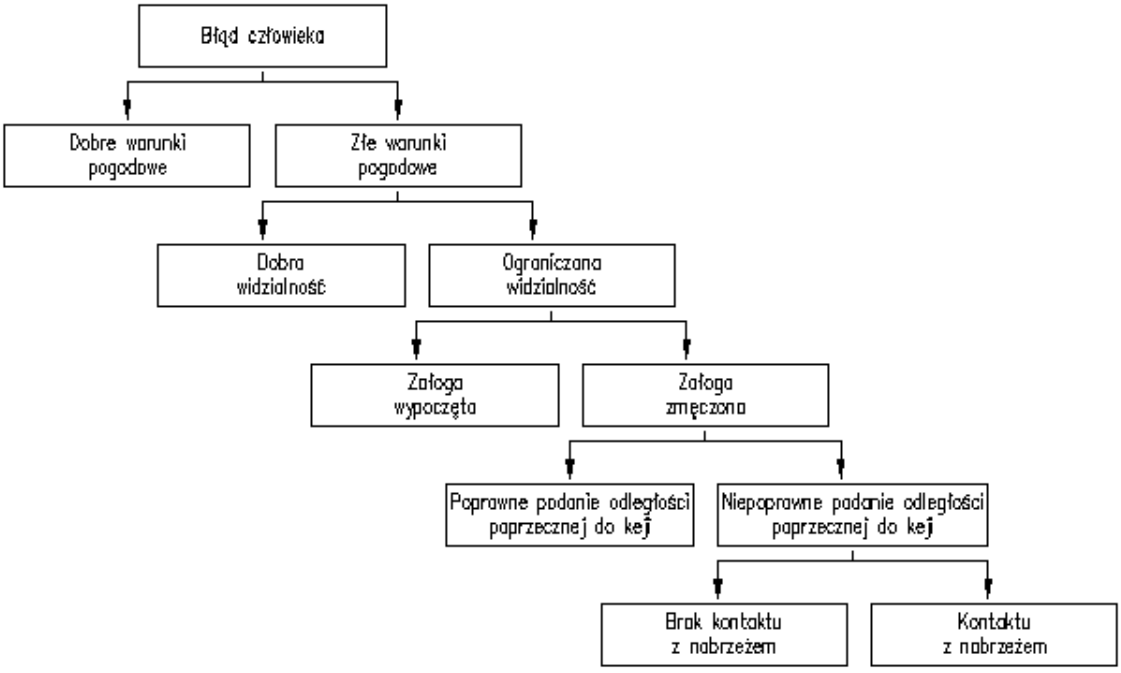
Wypadek	**Częstość**
Awaria techniczna	2,76E-04
Błąd człowieka	9,27E-04
Warunki pogodowe	7,52E-05
Nieznany	2,51E-05
Kolizja jednostek	2,51E-05

W tabeli 25 przedstawiono częstości występowania wypadków. Najczęściej występuje wypadek spowodowany błędem człowieka z najrzadziej związany z kolizją jednostek. Na rysunku 22 zaprezentowano wykres częstości występowania wypadków na podstawie danych z tabeli 25.



Rys. 22 Wykres częstości występowania wypadków

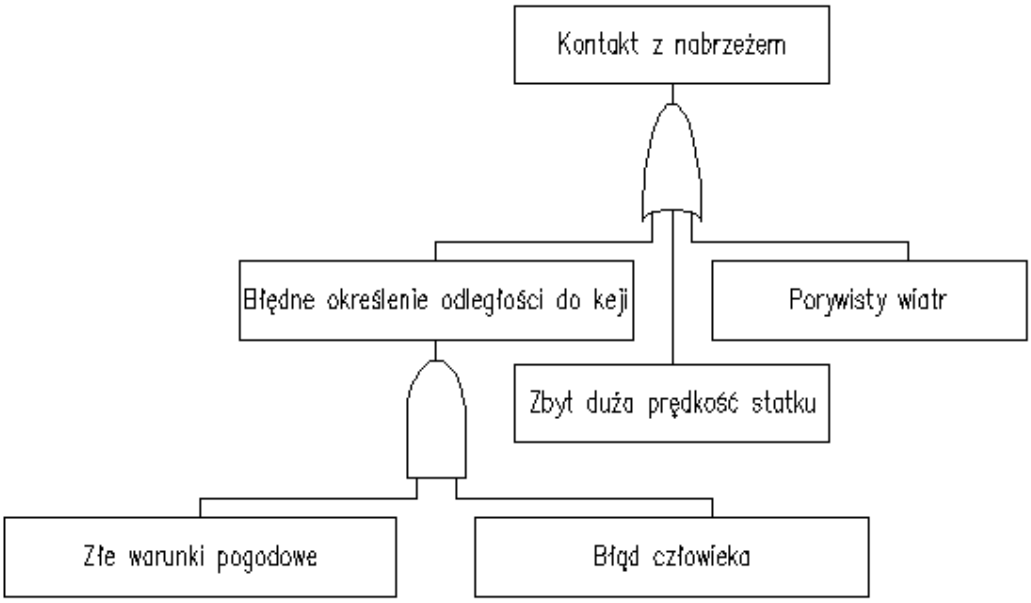
Konstrukcja drzewa zdarzeń dla wypadku m/f Polonia dnia 12.09.2003. Uszkodzeniu uległ odbijacz na stanowisku promowym nr 3 w Bazie Promów Morskich w Świnoujściu (rys. 23).



Rys. 23 Drzewo zdarzeń

Zaczynając od częstotliwości wydarzeń (na podstawie danych historycznych), prawdopodobieństwo wystąpienia złych warunków pogodowych i błędu, jaki może popełnić człowiek, są najczęstszą przyczyną wypadków. Konsekwencje uszkodzeń jednostki pływającej mogą mieć wpływ na ładunek i środowisko.

Kolejnym sposobem przedstawienia prawdopodobnego scenariusza wypadku jest drzewo błędu. Dla najczęściej występującej przyczyny wypadku na Zatoce Pomorskiej i w rejonie portu w Świnoujściu na przykładzie wypadku m/f Polonia dnia 12.09.2003 (rys. 24).



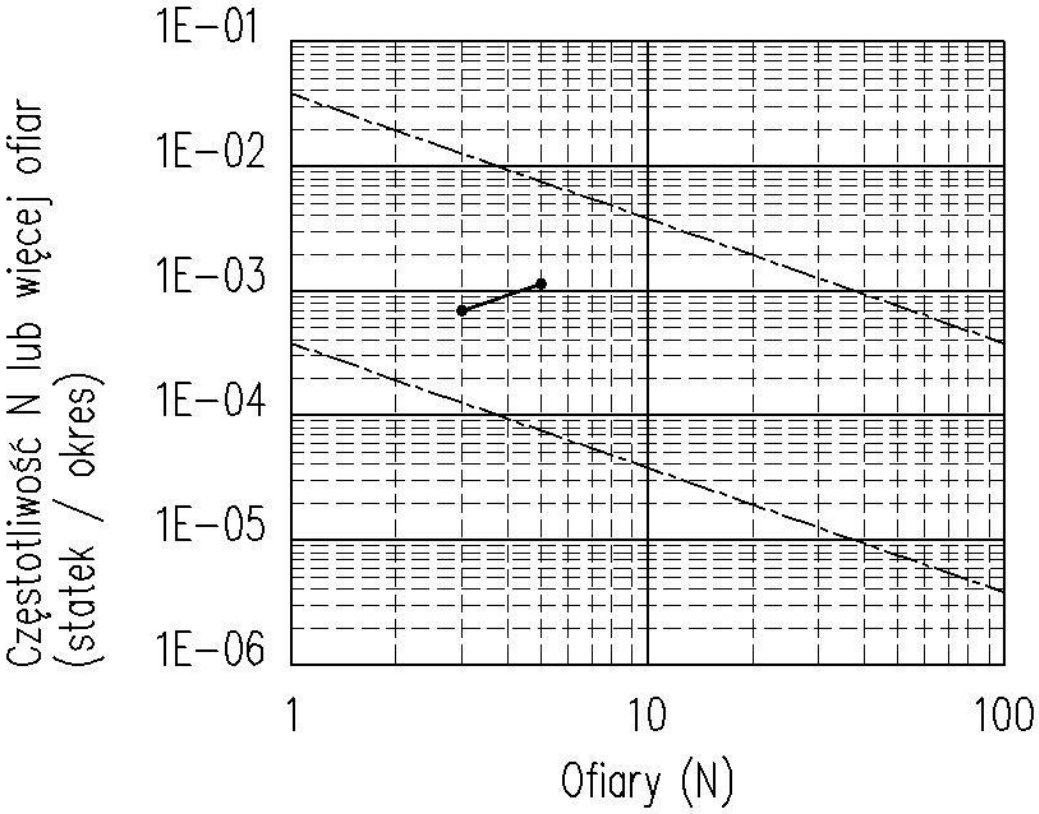
Rys. 24 Drzewo błędu

Społeczne ryzyko jest wyrażone jako potencjalne ryzyko utraty życia (PLL) dla członków załogi na rok statku, dla badanych przypadków zestawiono w tabeli 26.

Tabela 26 Wypadki ze skutkiem śmiertelnym

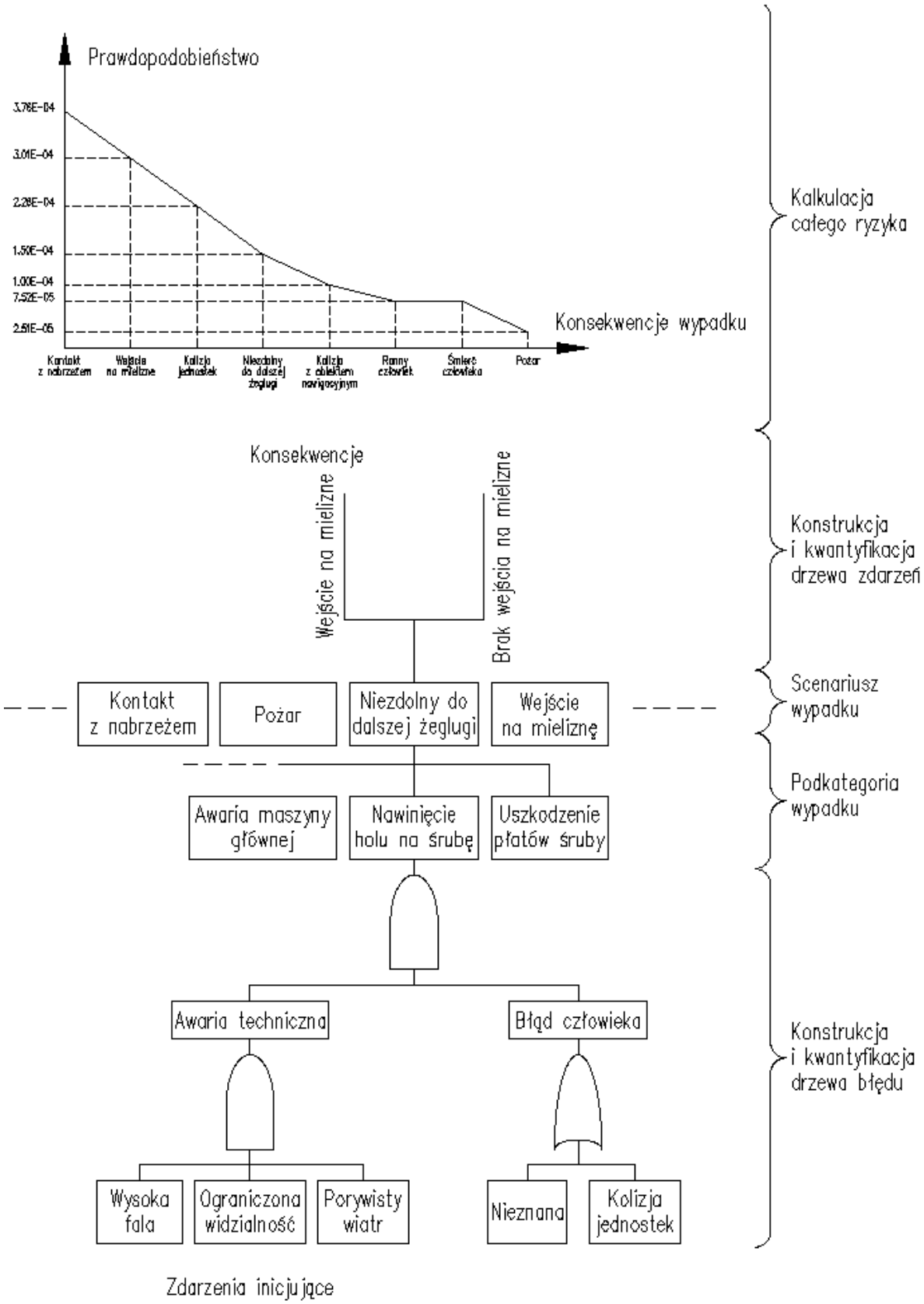
Wypadek	**PLL**	**PLL %**	**Ofiary**
Awaria techniczna	6,39E-04	35%	3
Błąd człowieka	1,05E-03	65%	5

Wykres F – N pokazuje zależność pomiędzy częstością F i liczbą N wypadków. Wykres ten jest używany do określenia ilościowego ryzyka społecznego dla dużych i małych wypadków. Analiza akceptacji społecznej przedstawiono na Krzywej F – N (rysunek 25 na podstawie danych z tabeli 26) pokazuje, że krzywa analizy danych znajduje się wewnątrz obszaru ALARP, co daje podstawę do dalszej analizy.



Rys. 25 Krzywa F – N dla analizowanych wypadków

Analiza RCT pozwala w jasny i czytelny sposób przedstawić przyczyny wypadku i jego skutki. Na rysunku 26 przedstawiono RCT dla najczęściej występującego rodzaju wypadku na Zatoce Pomorskiej i w Świnoujściu dla badanego okresu czasu.



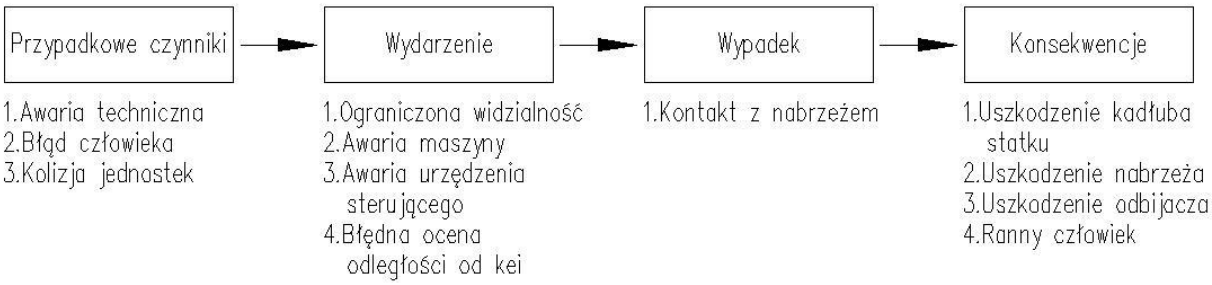
Rys. 26 Drzewo Rozkładu Ryzyka

Opcje kontroli ryzyka

Metody sterowania ryzykiem zostały zidentyfikowano, uszeregowano i oceniono pod względem ważności. Model ryzyka może zostać użyty w dwojaki sposób: w celu określenia redukcji ryzyka lub w celu szacowania korzyści wynikających ze zredukowanej liczby utraconego mienia (ładunek, statek, oznakowanie nawigacyjne, odbijacz).

Największe szkody powstają w skutek kolizji jednostek, wejścia na mieliznę, kontaktu z nabrzeżem lub obiektem nawigacyjnym.

Podobne efekty częstotliwości zdarzeń inicjujących kolizje i wejścia na mieliznę są spodziewane dla różnych typów statków. Do określenia sposobów sterowania ryzykiem RCM wykorzystuje się Łańcuch Zdarzeń (rys. 27).



Rys. 27 Łańcuch zdarzeń

Główne elementy opcji kontroli ryzyka są prezentowane podczas tzw. „burzy mózgów". Wskaźniki kontroli ryzyka relatywnie zmniejszają scenariusze dotyczące złych warunków pogodowych, tym samym zapobiegając pozostałym scenariuszom. Wzięcie pod uwagę liczby scenariuszy związanych z wypadkiem wpływa na obniżenie ryzyka i zwiększenie korzyści. Wynikiem tego procesu jest następująca lista opcji kontroli ryzyka i szczegółów dotyczących oceny korzyści:

RCO dla redukcji ryzyka powiązanego z kolizją i kontaktem:

- system kamer w części dziobowej statku.

RCO dla redukcji ryzyka powiązanego z wejściem na mieliznę:

- ECDIS,
- kontrola trasy.

RCO dla redukcji ryzyka powiązanego z kolizją:

- System AIS zintegrowany z radarem i ARPA.

RCO dla redukcji ryzyka powiązanego z kolizją, kontaktem i wejściem na mieliznę:

- udoskonalenie szkoleń dla nawigatorów,

- poprawienie ergonomii mostka nawigacyjnego,
- dodatkowy oficer na mostku nawigacyjnym podczas manewrów,
- wprowadzenie wskazówek dla Bridge Resource Management.

RCO dla redukcji ryzyka związanego z pożarem i eksplozją:

- obniżenie ilości niezadeklarowanych ładunków niebezpiecznych.

RCO dla redukcji ryzyka związanego z trudnymi warunkami hydrometeorologicznymi:

- zwiększenie efektywność pomp zęzowych,
- alarm zęzowy w ładowniach.

Analiza efektywności ekonomicznej

Celem kroku czwartego jest identyfikacja i połączenie oszacowania kosztów i korzyści z wdrożonymi zidentyfikowanymi w kroku 3 RCO. Analiza kosztów i korzyści powinna być pełna, na tyle na ile jest to możliwe. Ogólnie koszt poszczególnych elementów powinien zawierać koszty eksploatacyjne gromadzące się przez cały czas pracy systemu. Koszty są zazwyczaj wyrażone jednostkami pieniężnymi, a korzyści mogą być na przykład przedstawione w postaci redukcji wypadków ze skutkiem śmiertelnym, korzyści dla środowiska naturalnego lub ekonomiczną korzyścią niedopuszczenia do całkowitej utraty statku.

Przykładowe odpowiedniki szacowanych korzyści [Kontovas Ch. A., 2005]:

- Wartość życia ludzkiego: ICAF 3,000,000$ lub 2,000,000£;
- Wartość urazów lub złego stanu zdrowia: QALY 42,000$ na rok życia;
- Ekonomiczna wartość utraty statku: średni masowiec 24,808,000 $
  duży masowiec 43,900,000 $;
- Wartość rozlewu olejowego: baryłka rozlanego oleju 10,000 $

Proponowane przez IMO wartość NetCAF i GrossCAF przedstawiono w tabeli 27. Dane te uzyskano na podstawie wskaźnika społecznego. Przedstawione kryteria należy uaktualniać każdego roku, wliczając w to średnie ryzyko rentowności.

Tabela 27 Koszt kryteriów skuteczności [MSC-MEPC.2/Circ.5]

	NetCAF [US $]	**GrossCAF [US $]**
Kryterium zawierające ryzyko ofiar, rannych lub złego stanu zdrowia	3,000,000	3,000,000
Kryterium zawierające tylko ryzyko ofiar	1,500,000	1,500,000
Kryterium zawierające tylko ryzyko rannych lub złego stanu zdrowia	1,500,000	1,500,000

Rekomendacje do podejmowania decyzji

Rekomendacje do podejmowania decyzji oparto na kryterium akceptowalności ryzyka i kosztów efektywności opcji kontroli ryzyka. Przejrzystość i porównywalność rekomendacji opartych na takich kryteriach, wpłynie na poprawienie bezpieczeństwa, jeżeli będą one stosowane.

Model wykonano w celu stworzenia ogólnego profilu ryzyka dla Zatoki Pomorskiej z uwzględnieniem wypadków w porcie Świnoujście oraz oceny metod kontroli potencjalnego ryzyka dla korzyści obliczonych na podstawie redukcji ryzyka, jak również korzyści wynikających z redukcji utraty życia i mienia, na podstawie danych o wypadkach z lat 2002 – 2007. Zaprezentowano ryzyko indywidualne i społeczne na podstawie Krzywej F – N, które można wykorzystać do określenia ryzyka dla środowiska naturalnego. Różne dane wliczając w to rezultat z identyfikacji zagrożeń i dane statystyczne ofiar, użyto do określenia ilościowego i szacowania prawdopodobieństwa wystąpienia zdarzeń początkowych.

Na podstawie danych i ich analiz przedstawionych w krokach 1 – 4 można dojść do następujących wniosków:

- rośnie liczba wypadków,
- najczęstszą przyczyną wypadków jest błąd człowieka (69 %),
- najczęściej występującym wypadkiem jest kontakt z nabrzeżem w skutek błędu człowieka,
- miały miejsce wypadki z udziałem człowieka z czego 8 miało skutek śmiertelny,

- wartość życia ludzkiego szacowana jest wg ICAF 3,000,000$, z czego wynika, iż skutki samych wypadków śmiertelnych szacuje się na 9,000,000$ w badanym okresie czasu,
- skonstruowane drzewa błędów przedstawiają błędy jakie zostały popełnione, a których można było uniknąć i dzięki temu nie doszłoby do wypadków,
- zbudowane drzewa zdarzeń pokazują przebieg wydarzeń, które doprowadziły do wystąpienia wypadku,
- analiza krzywej F – N (rysunek 25) pokazuje, że krzywa analizy danych znajduje się wewnątrz obszaru ALARP, co daje podstawę do podjęcia działań redukujących liczbę wypadków,
- zastosowanie zaleceń wyszczególnionych w kroku 3 powinno zmniejszyć ryzyko wystąpienia wypadków.

Podsumowanie

Na zaistnienie morskiej katastrofy, której ofiarami mogą być ludzie, ma wpływ wiele czynników, między innymi stan techniczny jednostki, właściwe jej eksploatowanie zgodnie z zaleceniami czy też odpowiednie kwalifikacje i umiejętności załogi. Duże znaczenia mają również warunki hydrometeorologiczne, w jakich znalazł się statek.

Przedstawiono wymogi Międzynarodowej Organizacji Morskiej odnoszące się do metodyki formalnej oceny bezpieczeństwa żeglugi, zawarte w przedstawionych zaleceniach i okólnikach. Zaprezentowałam techniki analiz poszczególnych elementów procesu FSA.

Na podstawie wyników przedstawionych analiz wynika, że pomimo tego, że spada intensywność ruchu statków na Zatoce Pomorskiej i w porcie w Świnoujściu to wzrasta liczba wypadków na tym obszarze.

Analiza społeczna przedstawiona na Krzywej F – N (rysunek 25) wskazuje, istnieje uzasadnienie do wprowadzenia FSA dla badanego akwenu. Spowoduje to zwiększenie poziomu bezpieczeństwa i redukcję ryzyka wypadku.

Wprowadzenie w życie zaleceń wynikających przeprowadzonej analizy powinno spowodować podniesienie bezpieczeństwa życia, zmniejszenie ryzyka utraty bądź niszczenia mienia oraz zmniejszenia ryzyka zanieczyszczenia środowiska.

Po wprowadzeniu tych zaleceń, należałoby przeprowadzić powtórną analizę w celu zweryfikowania efektywności wprowadzonych zmian.

5. Zastosowanie formalnej metodologii oceny bezpieczeństwa żeglugi do oceny systemu bezpieczeństwa żeglugi śródlądowej na Dolnej Wiśle

Prowadzona przez Unię Europejską wspólna polityka transportowa dąży do podporządkowania transportu zasadom zrównoważonego rozwoju. Służyć to ma zapewnieniu rzeczywistej konkurencji pomiędzy różnymi gałęziami transportu na rzecz transportu przyjaznego środowisku oraz integracji towarowych korytarzy transportowych, wykorzystujących dwa lub więcej rodzaje transportu.

W świetle powyższych zasad, transport wodny śródlądowy, który jest przyjazny środowisku, bezpieczny i tani, zajmuje ważne miejsce w polityce zrównoważonego rozwoju.

Obecnie kierunki i tendencje rozwoju, a także polityka Unii Europejskiej dotyczące żeglugi śródlądowej mają na celu przystosowanie śródlądowych dróg wodnych do współczesnych potrzeb żeglugi, spedycji i turystyki oraz wykorzystanie infrastruktury śródlądowej do celów transportu intermodalnego jako element węzłów przeładunkowych i spedycyjnych [Jerzyło P., 2015]. .

Układ i długość śródlądowych dróg wodnych w Polsce od lat utrzymuje się na zbliżonym poziomie. Specyfika infrastruktury dróg wodnych wpływa na czynniki kształtujące popyt na przewozy żeglugą śródlądową. Warunki nawigacyjne przekładają się bezpośrednio na podstawowe parametry konstrukcyjne taboru wykorzystywanego do przewozów w żegludze śródlądowej, w tym na stosunkowo małą ładowność barek, jak również na wielkość przewozów.

Do najistotniejszych problemów infrastruktury żeglugi należy zaliczyć [Jerzyło P., Ślączka W., 2016]:

- niskie i bardzo zróżnicowane parametry techniczne na drogach wodnych,
- brak odpowiedniego oznakowania nawigacyjnego i oświetlenia,
- zróżnicowanie głębokości minimalnych i ich zbyt niski poziom,
- nieujednolicone parametry dotyczące szerokości szlaków żeglownych, promieni zakoli szlaku żeglownego, wysokości światła mostów, parametrów śluz, itp.

5.1 Poligon badawczy

Śródlądowe drogi wodne są podstawowym elementem infrastruktury technicznej kraju i występują w dwóch jej układach:

- w systemie transportowym, jako element jednej z jego gałęzi,
- w gospodarce wodnej, jako wielozadaniowe systemy wodne.

Jako rezerwuar wody powierzchniowej, główne rzeki pełnią kilka ważnych funkcji, wśród których do najważniejszych należą:

- funkcja przeciwpowodziowa (organizacyjne i techniczne zabiegi mające na celu łagodzenie skutków powodzi),
- funkcja transportowa (przewozy wodne śródlądowe oraz funkcjonowanie portów i stoczni rzecznych),
- funkcja przemysłowa i komunalna (zrzuty i ujęcia wody dla przemysłu i ludności),
- funkcja rolnicza (utrzymywania właściwych stosunków wodno – glebowych na terenach przyległych oraz nawadnianie gruntów),
- funkcja energetyczna (wykorzystanie energii przepływającej wody do produkcji energii elektrycznej),
- funkcja sportowo – rekreacyjna (miejsce spędzania wolnego czasu, w tym wypoczynku na wodzie).

Jedną z zalet wielofunkcyjnego wykorzystania dróg wodnych jest to, że zapotrzebowanie na wodę zgłasza wiele dziedzin gospodarki, które mogą przyspieszyć ich zagospodarowanie w sytuacji, gdy względy transportowe nie są wystarczającym argumentem, uzasadniającym konieczność podjęcia takich inwestycji. Również korzystne dla transportu wodnego śródlądowego jest jedynie partycypowanie budowy i eksploatacji infrastruktury, obok innych konsumentów i użytkowników wody, którzy powinni współfinansować rozwój i utrzymanie drogi wodnej.

Dzięki naturalnym warunkom stworzonym przez przyrodę rzeki stały się pierwszymi w historii transportu drogami. W wyniku działalności człowieka rzeki zostały zagospodarowane przez usunięcie przeszkód nawigacyjnych, pogłębienie i uregulowanie koryt. Nastąpiło rozszerzenie sieci naturalnych dróg wodnych przez ich łączenie sztucznymi kanałami. Wszystkie te działania umożliwiły budowanie i wykorzystywanie do transportu ładunków coraz większych statków i korzystanie z coraz dłuższych tras. Żegluga rozwija się na drogach wodnych o szczególnie sprzyjających warunkach geograficznych i hydrologicznych. Istniejąca sieć polskich dróg wodnych, pod względem technicznego przystosowania do wymogów transportu, jest stosunkowo uboga w przeciwieństwie do potencjalnych możliwości określonych warunkami geograficznymi. Możliwości te najlepiej charakteryzują dane statystyczne (tabela 28), które nie koniecznie odzwierciedlają warunki rzeczywiste panujące na drogach wodnych w Polsce.

Tabela 28 Drogi wodne śródlądowe w Polsce

Rodzaj drogi wodnej	Długość w 1973 [km]	Długość w 2006 [km]	Długość w 2013 [km]	Długość w 2014 [km]	Długość w 2015 [km]
Ogółem	4 573	3 660	3 655	3 655	3 655
Ogółem eksploatowane	3 853	3 351	3 383	3 387	3 365
Rzeki żeglowne uregulowane	3 223	2 413	2 417	2 417	2 417
Eksploatowane rzeki żeglowne skanalizowane	b.d	2 127	2 171	2 174	2 152
Skanalizowane odcinki rzek	b.d	644	644	644	644
Eksploatowane skanalizowane odcinki rzek	b.d.	631	620	620	620
Kanały	b.d.	344	336	336	336
Kanały eksploatowane	b.d.	334	334	334	334
Jeziora żeglowne	b.d.	259	258	259	259
Jeziora żeglowne eksploatowane	b.d.	259	258	259	259

Elementami infrastruktury transportowej każdej drogi wodnej są obiekty liniowe (szlak transportowy), posiadający obiekty takie jak: jazy, śluzy, kanały żeglugowe, hydrotechniczne budowle ochrony przeciwpowodziowej itp., oraz obiekty punktowe: porty. Zaniedbania oraz niszczenie tych obiektów wynikają głównie z zaniechania prac konserwacyjnych i remontowo – modernizacyjnych. Procesy te prowadzą często do uszkodzenia lub zniszczenia ubezpieczeń brzegowych i wałów przeciwpowodziowych, zamulania koryta rzek lub kanałów, uszkodzeń śluz, zamknięć i urządzeń napędowych, zaniechania robót związanych z regulacją.

Funkcjonowanie transportu wodnego wymaga trzech podstawowych elementów technicznych:

- drogi wodnej o odpowiedniej klasie,
- portów o niezbędnej przepustowości,
- floty zgodnej wielkością i kształtem z warunkami nawigacyjnymi na drodze wodnej, warunkami technicznymi w portach oraz wymaganiami narzuconymi przez ładunek.

Śródlądowe drogi wodne [Dz. U. z 2012 Nr 0, poz. 145] są to śródlądowe wody powierzchniowe, na których, z uwagi na warunki hydrologiczne oraz istniejące urządzenia wodne, możliwy jest przewóz osób i towarów statkami żeglugi śródlądowej.

5.1.1 Tworzenie baz danych

Budowę bazy danych, konieczną do tworzenia wybranych miar bezpieczeństwa ruchu na długich odcinkach dróg, rozpoczęto od zebrania niezbędnych informacji o dostępności danych. Dane uzyskano od:

- Regionalnego Zarządu Gospodarki Wodnej w Gdańsku (RZGW),
- Regionalnego Zarządu Gospodarki Wodnej w Warszawie,
- Urzędu Żeglugi Śródlądowej w Gdańsku,
- Urzędu Żeglugi Śródlądowej w Bydgoszczy,
- ankieta przeprowadzona wśród Armatorów, Kapitanów, Bosmanów Żeglugi Śródlądowej eksploatujących Dolną Wisłę.

Dane zostały podzielone na trzy grupy:

- Baza danych odcinków drogi wodnej – zawierające informacje o danych o odcinkach, lokalizacji, klasyfikacji i parametrach eksploatacyjnych,
- Baza danych intensywności ruchu – zawierająca dane o natężeniu ruchu jednostek na Dolnej Wiśle,
- Baza danych wypadków – zawierająca dane o wypadkach, ofiarach, okolicznościach, przyczynach i skutkach.

Opracowane bazy danych zostały zintegrowane w jedną bazę danych. Schemat tworzenia bazy danych zaprezentowano na rysunku 28.

Rys. 28 Schemat tworzenia bazy danych

5.1.1.1 Baza danych odcinków drogi wodnej

Wisła bierze swój początek w Beskidzie Śląskim na północno-zachodnim stoku Baraniej Góry o wysokości 1240 m n.p.m. i spływa dwoma potokami Białej i Czarnej Wisełki, łączącymi się w miejscowości Wisła-Czarne w rzekę Wisłę, która praktycznie do ujścia Przemszy ma charakter rzeki podgórskiej. Od ujścia Przemszy w Oświęcimiu rozpoczyna się Wisła żeglowna, która przepływa przez Małopolskę, centralną część kraju oraz Pomorze i wpada do Morza Bałtyckiego pod Świbnem, osiągając powierzchnię dorzecza 194 424 km2. Wisłę żeglowną można podzielić na następujące odcinki [Kulczyk J., Winter J., 2003]:

- Wisła górna - od ujścia Przemszy (0,0 km) do ujścia Sanu (279,7 km),
- Wisła środkowa - od ujścia Sanu do ujścia Świdra (490,0 km),
- Wisła Warszawska - od ujścia Świdra do ujścia Narwi (550,5 km),
- Wisła dolna - od ujścia Narwi do ujścia do Morza Bałtyckiego (941,3 km).

Dolna Wisła obejmuje odcinek liczący 390 km od ujścia Narwi (km 551) do ujścia Wisły do morza (km 941). Do dolnej Wisły można zaliczyć aglomerację Warszawską ze zbiornikiem Zegrzyńskim i Kanałem Żerańskim. Powierzchnia dorzecza dolnej Wisły wynosi 34,3 tys. km2. Narew łącznie z dopływem Bugu i Wkry jest największym dopływem Wisły zmieniającym w sposób zasadniczy natężenie przepływu w głównym korycie rzeki. Tuż poniżej ujścia Narwi znajduje się przekrój wodowskazowy Modlin.

Parametry eksploatacyjne śródlądowej drogi wodnej dolnej Wisły można podzielić na trzy odcinki (tabela 29) [Dz. U. z 2002 nr 77 poz. 695]:

- od ujścia Narwi do Silna, długości 167 km,
- od Silna do Nogatu, długości 168 km,
- poniżej Nogatu, długości 55 km.

Tabela 29 Klasyfikacja śródlądowych dróg wodnych dolnej Wisły wg Rozporządzenia Rady Ministrów z dnia 7 maja 2002r Dz. U. nr 77 poz. 695

L.p.	Odcinek śródlądowej drogi wodnej dolnej Wisły	Długość [km]	Klasa drogi wodnej
1.	WISŁA − od stopnia wodnego Włocławek do ujścia rzeki Tążyny − od ujścia rzeki Tążyny do miejscowości Tczew − od miejscowości Tczew do granic z morskimi wodami wewnętrznymi	43,0 190,5 32,7	Ib II III
2.	BRDA − od połączenia z kanałem Bydgoskim w miejscowości Bydgoszcz do ujścia do rzeki Wisły	14,4	II
3.	KANAŁ JAGIELLOŃSKI − od połączenia z rzeką Elbląg do rzeki Nogat	5,8	II
4.	NOGAT	62	II

	− od rzeki Wisły do ujścia do Zalewu Wiślanego		
5.	SZKARPAWA − od rzeki Wisły do ujścia do Zalewu Wiślanego	25,4	II
6.	MARTWA WISŁA − od rzeki Wisły w miejscowości Przegalina do granic z morskimi wodami wewnętrznymi	11,5	Vb

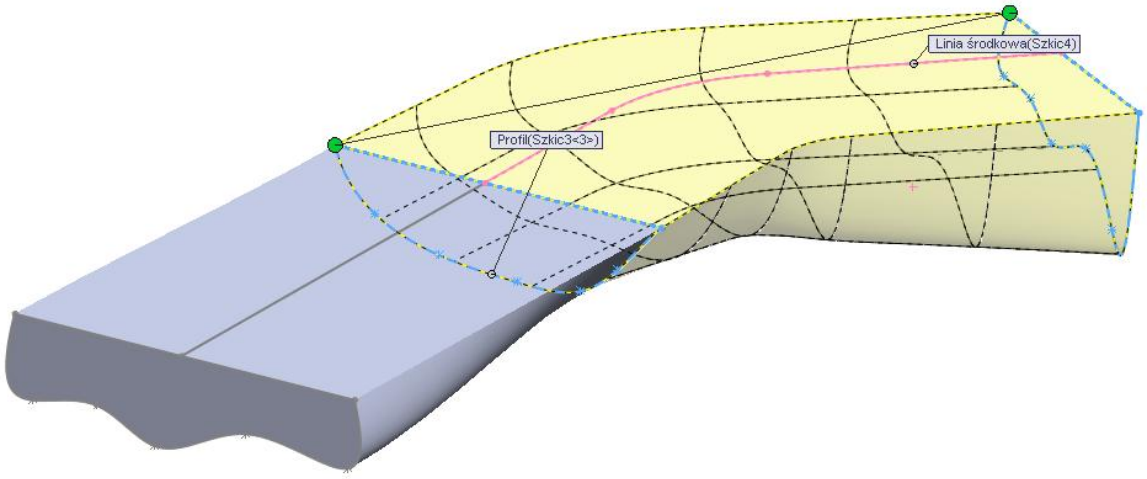
Pierwszy odcinek nadal nie jest w pełni uregulowany. Dno koryta jest zbudowane z piasków, które przemieszczają się przy wyższych stanach wody i większych prędkościach nurtu. W związku z tym tworzą się łachy i przemiały, które w rezultacie wpływają na ograniczenie głębokości żeglugowych oraz na brak stałości szlaku żeglugowego. Długości łach i przemiałów osiągają kilkaset metrów. Wybudowany stopień wodny Włocławek wpłynął korzystnie na warunki żeglugowe na trasie Płock - Włocławek; odcinek ten odpowiada pod względem głębokości klasie żeglugowej Va. Natomiast odcinek poniżej stopnia wodnego we Włocławku, o długości 35 km, ma zmienne warunki nawigacyjne, co jest spowodowane głównie pracą elektrowni wodnej. Na odcinku Narew - Płock głębokości wynoszą od 0,5 m do około 2,5 m.

Drugi odcinek dolnej Wisły, od Silna do Nogatu, został całkowicie uregulowany podczas zaboru pruskiego, jednak wskutek niedostatecznych remontów bieżących niektóre budowle regulacyjne uległy znacznej dewastacji. W rezultacie nie uzyskuje się tu odpowiednich głębokości żeglugowych. Wynika to również z nieprawidłowo przeprowadzonej regulacji, polegającej na niewłaściwym rozwinięciu trasy oraz zastosowaniu za dużej szerokości koryta (375 m).

Trzeci odcinek drogi wodnej dolnej Wisły (rys. 29), od Nogatu do ujścia do morza, jest również całkowicie uregulowany. Zastosowana tu szerokość trasy regulacyjnej; 250 m sprawia, że głębokości na prze-miałach nie spadają poniżej 1,60 m. Jedynie pod miejscowością Piekło, na odcinku 5 km, głębokości te zmniejszają się na przemiałach do około 1,30 m. Sam w sobie problem z punktu żeglugowego stanowi przekop Wiślany. Wisła jest powiązana z portem gdańskim przez śluzę w Przegalinie, natomiast nie ma jeszcze bezpośredniego połączenia z Portem Północnym, z Zalewem Wiślanym jest natomiast połączona przez śluzę w Gdańskiej Głowie i rzekę Szkarpawę lub przez Śluzę w Białej Górze i rzekę Nogat [Bolt A., Jerzyło P., 2013].

Nogat od rzeki Wisły do ujścia do Zalewu Wiślanego, długość 62,0 km pozostaje w klasie II drogi wodnej o znaczeniu regionalnym. Rzeka Nogat zalicza się do II klasy drogi wodnej. Odcinek od km 0+000 do 38+650 jest skanalizowany (4 śluzy: Biała Góra, Szonowo, Rakowiec, Michałowo), Głębokość tranzytowa wynosi 1,80 m. Odcinek od km 38+650 do

62+000 – to odcinek żeglowny rzeki wolno płynącej z ograniczeniem głębokości tranzytowej do 1,60 m. Na odcinku skanalizowanym spełnia wymagania w zakresie szerokości szlaku żeglownego (30 m), minimalnego promienia osi łuków szlaku żeglownego (300 m), parametrów śluz (długość 65 m, szerokości 9,5 m, głębokość na progu dolnym 2,2 m) i głębokości tranzytowej 1,8 m.



Rys. 29 Fragment matematycznego modelu koryta rzeki Wisły

Rzeka Szkarpawa ma długość 25,4 km i zalicza się do II klasy drogi wodnej z ograniczeniem głębokości tranzytowej do 1,60 i promieniami osi łuków szlaku żeglownego do 150 m. spełnia wymagania w zakresie szerokości szlaku żeglownego (30 m) i parametrów śluzy Gdańska Głowa (długość 65 m, szerokości 9,5 m, głębokość na progu dolnym 2,2 m).

Rzeka Martwa Wisła ma długość 11,5 km, zalicza się do Vb klasy drogi wodnej z ograniczeniem szerokości śluzy w Przegalinie do 11,90 m. Spełnia wymagania w zakresie szerokość szlaku żeglownego 50 m, głębokości tranzytowej 2,8 m i promieni osi łuku szlaku żeglownego 800 m.

5.1.1.2 Baza danych intensywności ruchu

Strumień ruchu statków opisywany jest szeregiem różnych parametrów, spośród których wyróżniane są parametry podstawowe i dodatkowe [Gaca S., Suchorzewski W., Tracz M., 2008]. Podstawowymi parametrami są:

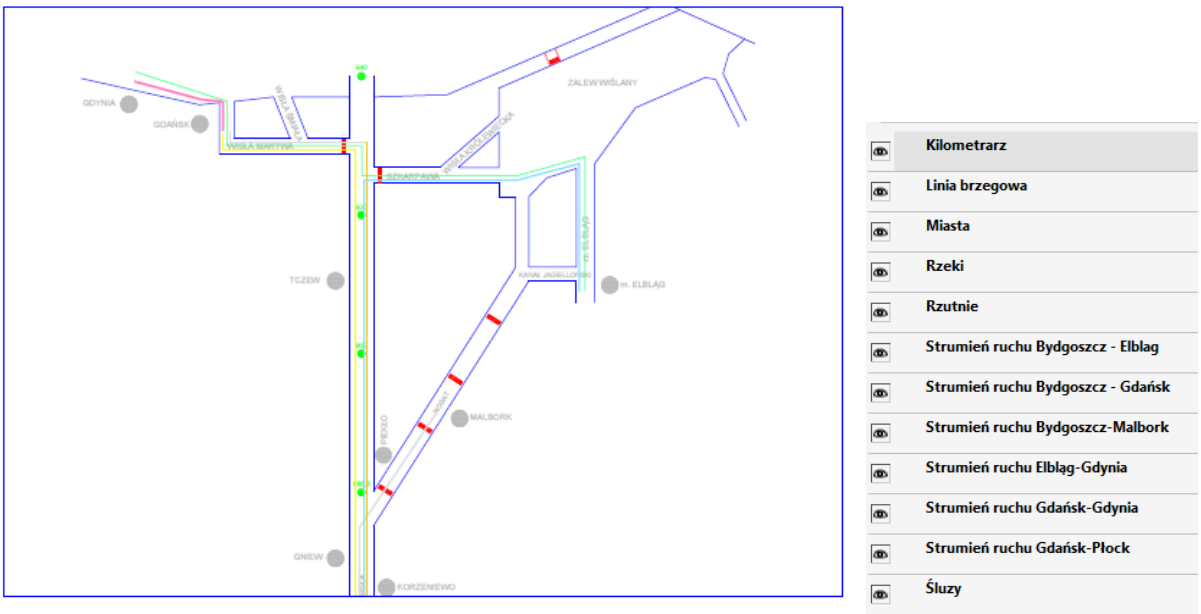
- intensywność (natężenie),
- gęstość,
- prędkość.

Ponadto, strumień ruchu można opisywać za pomocą następujących wielkości [Gaca S., Suchorzewski W., Tracz M., 2008]:

– odstęp między kolejkami,
– czas pomiędzy zgłoszeniami kolejnych statków,
– liczba statków, trawersujących ustalony punkt drogi w zadanych przedziałach czasu,
– struktura kierunkowa i rodzajowa ruchu.

Informacje identyfikujące jednostkę pływająca po wodach morskich oraz identyfikujące jej parametry ruchu można uzyskać za pomocą Systemu Kontroli Ruchu Statków (VTS – ang. Vessel Traffic Service). VTS - są to usługi prowadzone przez kompetentną administrację, służące poprawie bezpieczeństwa, wydajności nawigacji i ochrony środowiska. Usługa ta musi mieć możliwość oddziaływania i reagowania na sytuacje związane z ruchem mające miejsce na obszarach działania VTS. Innym systemem służącym do pozyskiwania danych jest System Automatycznej Identyfikacji (AIS- ang. Automatic Identification System) [Pawlak M., Piaseczny L., 2008].

W przypadku pozyskiwania informacji o ruchach jednostek na śródlądowych drogach wodnych można wykorzystać dane uzyskane z systemu informacji rzecznej, którego celem jest poprawa bezpieczeństwa żeglugi.



Rys. 30 Strumienie ruchu na Dolnej Wiśle

Droga wodna w Delcie Wisły nie jest objęta żadnym System Kontroli Ruchu, Systemem Informacji Rzecznej czy Systemem Automatycznej Identyfikacji Statków. Dane dotyczące, taboru żeglugi śródlądowej, ruchu jednostek i przewożonych ładunków można

uzyskać z Głównego Urzędu Statystycznego, Regionalnego Zarządu Dróg Wodnych w Gdańsku i w Warszawie (na podstawie danych z śluzowań w śluzach: Biała Góra, Gdańska Głowa, Bydgoszcz, Przegalina i Włocławek) i na podstawie informacji uzyskanych od użytkowników śródlądowych dróg wodnych Dolnej Wisły (rys. 30).

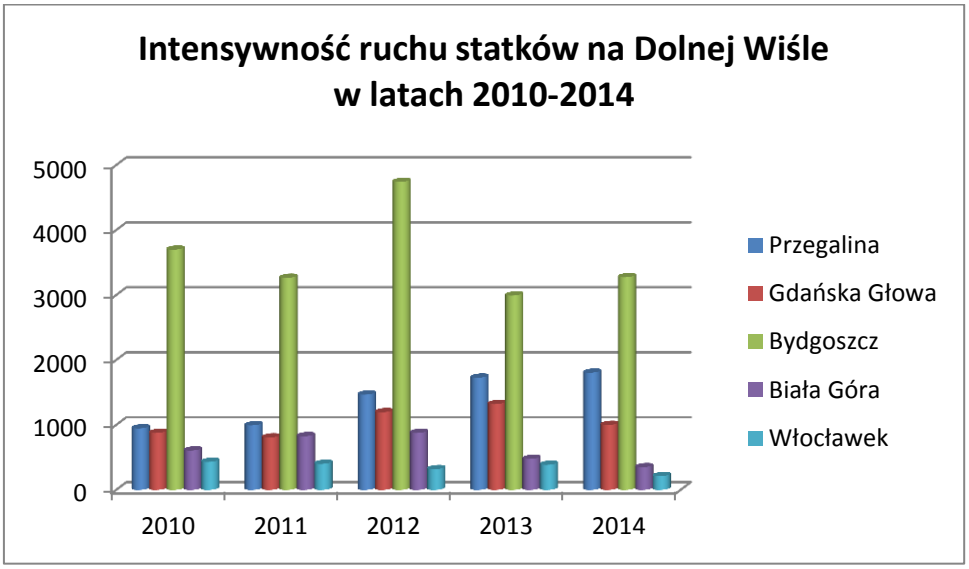
Natężenie to parametr strumienia ruchu jednostek, określający liczbę statków trawersujących ustalony punkt na torze wodnym w jednostce czasu. Natężenie wyraża się wzorem:

$$q = \frac{n}{\tau} \tag{5.1}$$

gdzie:

q - natężenie strumienia ruchu jednostek,
n - liczba jednostek trawersujących dany punkt,
τ - przedział czasowy, w którym dokonywano rejestracji przepływających jednostek.

Statystyczna analiza liczby śluzowanych statków wykazała duże zróżnicowanie natężenia strumienia ruchu statków (rys. 31).



Rys. 31 Intensywność ruchu statków na Dolnej Wiśle w latach 2010 – 2014

Gęstość strumienia ruchu to liczba statków przypadająca na jednostkę długości drogi wodnej w pewnej określonej jednostce czasu.

$$\rho = \frac{n}{S_o} \tag{5.2}$$

gdzie:

ρ - gęstość strumienia ruchu,
n - liczba jednostek zaobserwowanych na danym odcinku drogi wodnej,

S_o - długość odcinka drogi wodnej, na którym dokonywano rejestracji, znajdujących się na nim jednostek.

W związku ze specyfikacją ruchu statków, gęstość strumienia, czyli liczba jednostek znajdujących się na jednostkowym odcinku drogi wodnej, jest bardzo mała.

Tabela 30 Natężenie ruchu statków na Dolnej Wiśle w latach 2010 – 2014

Rok		**2010**		**2011**		**2012**		**2013**		**2014**
śluza	**Statki**	**Pozostałe**	**Statki**	**Pozostałe**	**Statki**	**Pozostałe**	**Statki**	**Pozostałe**	**Statki**	**Pozostałe**
Przegalina	125	823	101	894	54	1414	90	1638	122	1683
Gdańska Głowa	105	773	48	760	32	1165	50	1272	35	965
Bydgoszcz	571	3128	496	2769	1056	3689	561	2432	381	2894
Biała Góra	136	471	181	646	129	749	40	438	3	347
Włocławek	69	363	83	318	88	231	123	264	83	129

Uwagi:
Statki to: holowniki, pchacze i barki motorowe
Bydgoszcz to: śluza miejska i śluza czersko-polskie
Pozostałe to: barki pchane, barki holowane, lodołamacze, statki pasażerskie, statki specjalistyczne, jednostki turystyczne.

Prędkość strumienia ruchu jest często utożsamiana z prędkością jednostek składających się na ten strumień. Może byś rozpatrywana w aspekcie przestrzennym lub czasowym [Gaca S., Suchorzewski W., Tracz M., 2008]. Prędkość na odcinku toru wodnego w określonym czasie, możemy analizować poprzez obserwacje w ustalonym punkcie danego odcinka toru. Oznacza to, że można rozpatrywać średnią prędkość jednostek w danym czasie (średnią prędkość lokalną) lub przeciętną prędkość statków w danej chwili (średnią prędkość punktową).

W obserwacjach lokalnych rejestruje się prędkości poszczególnych statków trawersujących dany punkt toru wodnego. Na ich podstawie określa się średnią prędkość punktową:

$$\overline{V_P} = \frac{1}{n_P}\sum_{i=1}^{n_P} V_{Pi} \tag{5.3}$$

gdzie:
$\overline{V_P}$ - średnia prędkość punkowa,
P - punkt toru wodnego, w którym dokonuje się obserwacji,
n_P - liczba statków trawersujących ustalony punkt w danym czasie,
V_{Pi} - prędkości chwilowe statków w momencie trawersowania ustalonego punktu.

W obserwacjach czasowych rejestruje się prędkości chwilowe poszczególnych jednostek w danej chwili obserwacji. Na ich podstawie wyznacza się średnią prędkość chwilową:

$$\overline{V_t} = \frac{1}{n_t}\sum_{i=1}^{n_t} V_{ti} \tag{5.4}$$

gdzie:
$\overline{V_t}$ - średnia prędkość chwilowa,
t - czas, w którym dokonuje się obserwacji,
n_t - liczba statków znajdujących się na odcinku, w chwili obserwacji,
V_{ti} - prędkości chwilowe statków w momencie obserwacji.

W ogólnym przypadku prędkość strumienia wyraża się wzorem łączącym podstawowe parametry strumienia ruchu:

$$V_S = \frac{q}{\rho} \tag{5.5}$$

gdzie:
V_S - prędkość strumienia ruchu statków,
q - natężenie strumienia ruchu jednostek,
ρ - gęstość strumienia ruchu.

Przepustowość dwutorowego szlaku żeglownego określa się ilością ładunku, która zostanie przewieziona na danym odcinku cieku w ciągu roku. Przepustowość teoretyczna różni się znacznie od przepustowości praktycznej ze względu na różne przeszkody i trudności eksploatacyjne. Wzór teoretyczny dla rzeki swobodnie płynącej [Wszelaczyński W., 1990]:

$$C = \frac{PVT}{D} \tag{5.6}$$

gdzie:
C – przepustowość roczna,
P – ładowność największych jednostek w tonach,
V – prędkość techniczna jednostek,
D – dopuszczalny odstęp między jednostkami,
T – czas trwania okresu nawigacyjnego w ciągu roku w godzinach.

Przepustowość praktyczna jest mniejsza i w celu jej jak najdokładniejszego określenia, wprowadzono współczynniki korekcyjne [Wszelaczyński W., 1990]:

$$C_{pr} = \frac{PVT}{1{,}5D_b + L} a_1 a_2 a_3 a_4 \tag{5.7}$$

gdzie:
C_{pr} – przepustowość praktyczna,
D_b – dopuszczalny odstęp między jednostkami [m],

L – długość jednostki [m],
1,5 – współczynnik bezpieczeństwa,
a_1 – współczynnik zmienności ruchu jednostki,
a_2 – współczynnik nierównomierności pracy portów,
a_3 – współczynnik niepełności ładunku jednostki wynikający ze zmiennej głębokości rzeki,
a_4 – współczynnik uwzględniający zmniejszenie prędkości wskutek mijania się statków.

W rzekach całkowicie skanalizowanych oraz na kanałach sztucznych na przepustowość drogi wodnej wpływa przede wszystkim przepustowość śluz. Praktyczną przepustowość śluzy w dwóch kierunkach oblicza się ze wzoru:

$$C_s = 2P(nm - n_o)Nb_1b_2b_3b_4 \tag{5.8}$$

gdzie:
C_s – roczna przepustowość śluzy,
P – ładowność typowej barki w tonach,
n – ilość śluzowań dziennie,
n_o – ilość jednostek nietowarowych,
m – ilość jednostek wchodzących razem do śluzy,
N – okres nawigacyjny w ciągu roku, w dniach,
2 – współczynnik śluzowania w dwóch kierunkach,
b_1 – współczynnik nierównomierności śluzowania,
b_2 – współczynnik nierównomierności pracy portów,
b_3 – współczynnik niepełności ładunku jednostki wynikający ze zmiennej głębokości rzeki,
b_4 – współczynnik eksploatacyjny zależny od wymiarów komory śluzy.

5.1.1.3 Baza danych wypadków

Baza danych wypadków została utworzona dla wypadków z lat 2000 - 2015. Wyjściowymi danymi były informacje uzyskane z Urzędów Żeglugi Śródlądowej w Gdańsku i Bydgoszczy oraz na podstawie danych zgromadzonych z przeprowadzonej ankiety wśród Armatorów, Kapitanów i Bosmanów Żeglugi Śródlądowej.

Każde zdarzenie posiada informację o czasie jego wystąpienia, przyczynach, okolicznościach, skutkach, lokalizacji oraz dane o rannych i ofiarach. W tabeli 31 przedstawiono klasyfikację wypadków zgodnie z wytycznymi zawartymi w Dz.U. 2002 Nr 17 poz. 161, ustawa z dnia 22 stycznia 2001 r. w sprawie szczegółowego trybu postępowania w związku z wypadkami żeglugowymi na śródlądowych drogach wodnych.

Tabela 31 Wypadki występujące na śródlądowych drogach wodnych

L.p.	**Rodzaj wypadku/skutku**
1	Zatonięcie statku
2	Zderzenie się statków
3	Zdarzenie, którego skutkiem jest śmierć lub uszczerbek na zdrowiu
4	Zanieczyszczenie środowiska
5	Uszkodzenie obiektu hydrotechnicznego (łącznie z obiektem mostowym)
6	Uszkodzenie statku w wyniku kolizji z obiektem hydrotechnicznym (łącznie z elementami oznakowania szlaku żeglownego)
7	Pożar lub wybuch na statku
8	Zgubienie przez statek ładunku lub elementów wyposażenia
9	Wejście na mieliznę

5.2 Identyfikacja zagrożeń

Identyfikując zagrożenia stwierdza się, jaki jest stan środowiska pracy mogący spowodować wypadek.

Wykaz statków i jednostek turystycznych poruszających się po badanych obszarze zidentyfikowano na podstawie danych uzyskach ze śluzowań w śluzach: Przegalina, Gdańska Głowa, Biała Góra, Bydgoszcz (Miejska i Czersko-Polskie) i Włocławek (tabela 32).

Tabela 32 Intensywność ruchu jednostek towarowych i turystycznych w latach 2010 - 2014

Śluza	**2010**	**2011**	**2012**	**2013**	**2014**
Przegalina	948	995	1468	1728	1805
Gdańska Głowa	878	808	1197	1322	1000
Bydgoszcz	3699	3265	4742	2993	3275
Biała Góra	607	827	878	478	350
Włocławek	432	401	319	387	212

Identyfikację zagrożeń należy rozpocząć od zapoznania się z niezgodnościami, tzn. niespełnieniem wymagań przepisów i norm, jakie występują na stanowisku pracy, a następnie

identyfikować wszystkie zagrożenia, których źródłem są występujące czynniki niebezpieczne, szkodliwe i uciążliwe.

Identyfikacja zagrożeń powinna również objąć historią, a zatem zagrożeniami, które przyczyniły się w przeszłości do powstania wypadków, awarii, zdarzeń niebezpiecznych (tabela 32).

Tabela 33 Wykorzystanie analizy HAZOP do przeprowadzenia identyfikacja zagrożeń

Element	Odchylenie	Przyczyna	Skutek	Zapobieganie
Poziom wody	Niewystarczająca głębokość	• Wejście na mieliznę • Kontakt z nabrzeżem • Wstrzymanie ruchu jednostek	• Uszkodzenie kadłuba • Zerwanie kontraktu • Wydłużenie czasu transportu • Zwiększenie kosztów transportu • Uszkodzenie nabrzeża	Zrównoważona gospodarka zasobami wodnymi
	Silny prąd	• Kolizja z obiektem mostowym • Kolizja z budowlą regulacyjną • Wejście na mieliznę • Kolizja z oznakowaniem nawigacyjnym	• Uszkodzenie kadłuba • Uszkodzenie śruby napędowej • Uszkodzenie filaru mostu • Uszkodzenie steru • Wejście na mieliznę	Wprowadzenie ograniczenia dla żeglugi przy wysokim stanie wody Zachowanie szczególnej ostrożności
	Ruchu rumowiska	• Wejście na mieliznę	• Uszkodzenie kadłuba	Zrównoważona gospodarka zasobami wodnymi
	Zawężenie szlaku żeglownego	• Wejście na mieliznę	• Uszkodzenie kadłuba	Zrównoważona gospodarka zasobami wodnymi

5.3 Szacowanie ryzyka

Uprawianie żeglugi zawsze związane jest z możliwością powstawania strat. Mogą to być zarówno straty bezpośrednie dla statku i ładunku, jak i straty po-średnie dla osób trzecich. Ryzyko jest zapisem przyjętym do określania losowych strat. Jako miary strat w przypadku, gdy niezagrożone jest życie ludzkie, przyjmowane są miary ekonomiczne i względne. W pierwszej z nich straty wyraża się za pomocą wartości monetarnych, a w drugiej porównuje do charaktery-stycznej wartości, np. do skutków granicznych pomiędzy wypadkiem ciężkim a lekkim [Gucma L., 2009].

Podziały metod dotyczących szacowania ryzyka w transporcie wodnym:

- metody macierzowe (tzw. macierz ryzyka),
- metody drzew logicznych (metoda drzewa zdarzeń, metoda drzewa błędów),
- metody symulacyjne.

Metody macierzowe wyznaczają poziom ryzyka na podstawie wcześniej szacowanych kategorii wartości skutków oraz kategorii prawdopodobieństwa ich występowania.

Liczba kategorii jest dobierana w każdej analizie i zwykle obejmuje od 5 do 7 kategorii. Liczba ta jest dopasowana do potencjalnych rozmiarów skutków wypadku.
Macierz ryzyka jest dzielona zwykle na 3 do 5 obszarów ryzyka w zależności od dokładności wyników, jakie mają być osiągnięte [Gucma L., 2009]. W przypadku trzech obszarów ryzyka wyróżnia się:

- ryzyko nieakceptowalne,
- ryzyko akceptowalne,
- ryzyko dopuszczalne zawarte pomiędzy ryzykiem nieakceptowalnym i akceptowalnym.

Macierze ryzyka są najprostszymi metodami wykorzystywanymi do oceny ryzyka w transporcie wodnym.

Metody oparte na macierzach ryzyka wyznaczają poziom ryzyka na podstawie określonych wartości prawdopodobieństwa i skutków, wcześniej jako odpowiednią kombinację oszacowywanych kategorii wielkości skutków oraz kategorii prawdopodobieństwa ich występowania (tabela 34).

Tabela 34 Macierz ryzyka

	Ciężkość następstw zagrożeń		
Prawdopodobieństwo wystąpienia możliwych skutków zdarzeń	MAŁE	ŚREDNIE	DUŻE
MAŁE	BARDZO MAŁE	MAŁE	ŚREDNIE
ŚREDNIA	MAŁE	ŚREDNIE	DUŻE
DUŻE	ŚREDNIE	DUŻE	BARDZO DUŻE

W tabeli 35 przedstawiono częstość występowania wypadków. Kolorem czarnym klasyfikację wypadków zgodnie z wytycznymi zawartymi w Dz.U. 2002 Nr 17 poz. 161, ustawa z dnia 22 stycznia 2001 r. w sprawie szczegółowego trybu postępowania w związku z wypadkami żeglugowymi na śródlądowych drogach wodnych, kolorem niebieskim zaznaczono klasy wypadków, które nie są ujęte ustawą a wystąpiły.

Tabela 35 Częstość występowania wypadków na badanym obszarze w latach 2000 – 2015

L.p.	**Rodzaj wypadku/skutku**	**Występowanie [ilość]**
1	Zatonięcie statku	1/10 lat
2	Zderzenie się statków	2/10 lat
3	Zdarzenie, którego skutkiem jest śmierć lub uszczerbek na zdrowiu	3/10 lat i 10/rok
4	Zanieczyszczenie środowiska	bd
5	Uszkodzenie obiektu hydrotechnicznego (łącznie z obiektem mostowym)	6/rok
6	Uszkodzenie statku w wyniku kolizji z obiektem hydrotechnicznym (łącznie z elementami oznakowania szlaku żeglownego)	2/rok
7	Pożar lub wybuch na statku	bd
8	Zgubienie przez statek ładunku lub elementów wyposażenia	bd
9	Wejście na mieliznę	300/rok
10	Uszkodzenie statku w wyniku kolizji z obiektem znajdującym się na dnie (w tym wraki, pozostałości obiektów mostowych, kotwice, odkryte rurociągi, konstrukcje stalowe, głazy, sieci rybackie, mienie wojskowe, zabytki)	10/rok
11	Uszkodzenie statku w wyniku działania czynników zewnętrznych (odpadające elementy obiektów mostowych)	1/rok
12	Uszkodzenie statku w wyniku negatynwego oddziaływania środowiska naturalnego (kwitnienie wody, pływające kłody drewna, martwe zwierzęta)	10/rok

5.4 Opcje kontroli ryzyka

Metody redukcji ryzyka – RCO (Risk Control Options) to metody, których celem jest znalezienie możliwości efektywnego zmniejszenia ryzyka. Przyjmuje się, że redukcję ryzyka powinno się przeprowadzać w następującej kolejności:

- redukcja największego ryzyka,
- redukcja zdarzeń o największym prawdopodobieństwie występowania,

- redukcja zdarzeń o największych skutkach,
- redukcja zdarzeń o największej niepewności.

Można również zaakceptować istniejące ryzyko, o ile nie ma specjalnych wy-tycznych do jego redukcji.

Redukcję ryzyka przeprowadza się dzieląc najpierw czynniki na dwie grupy dotyczące możliwości redukcji prawdopodobieństwa i skutków wypadku. W dalszej kolejności rozpatruje się wszystkie możliwe czynniki z dwóch po-wyższych grup. Zwykle do wykonania takiej procedury zatrudnia się ekspertów z dużym doświadczaniem operacyjnym w danym systemie. Redukcji ryzyka nawigacyjnego dokonuje się najczęściej poprzez [Gucma L., 2009]:

- oddziaływania prawne i instytucjonalne,
- oddziaływanie na poziomie zarządzania (np. ruchem statków lub instytucją),
- zmieniając infrastrukturę nawigacyjną,
- zmieniając wyposażenie techniczne statków,
- ingerencje w konstrukcje statków,
- inne działania.

Polska działa w uwarunkowaniach światowych i europejskich i przez to przyjęte akty są odpowiednio respektowane. W Polsce nie ma jednak szczegółowych wytycznych prawnych do zarządzania ryzykiem w transporcie śródlądowym.

Wprowadzenie proponowanych wytycznych powinno uwzględniać zupełnie odmienny system odpowiedzialności za bezpieczeństwo na obszarach i w portach śródlądowych oparty na Urzędach Żeglugi Śródlądowej i Regionalnych Zarządach Gospodarki Wodnej.

Prowadzona przez Unię Europejską wspólna polityka transportowa dąży do podporządkowania transportu zasadom zrównoważonego rozwoju. Służyć to ma zapewnieniu rzeczywistej konkurencji pomiędzy różnymi gałęziami transportu na rzecz transportu przyjaznego środowisku oraz integracji towarowych korytarzy transportowych, wykorzystujących dwa lub więcej rodzaje transportu.

W świetle powyższych zasad, transport wodny śródlądowy, który jest przyjazny środowisku, bezpieczny i tani, zajmuje ważne miejsce w polityce zrównoważonego rozwoju [Główny Urząd Statystyczny, 2014].

Obecnie kierunki i tendencje rozwoju, a także polityka Unii Europejskiej dotyczące żeglugi śródlądowej mają na celu przystosowanie śródlądowych dróg wodnych do współczesnych potrzeb żeglugi, spedycji i turystyki oraz wykorzystanie infrastruktury

śródlądowej do celów transportu intermodalnego jako element węzłów przeładunkowych i spedycyjnych.

Układ i długość śródlądowych dróg wodnych w Polsce od lat utrzymuje się na zbliżonym poziomie. Specyfika infrastruktury dróg wodnych wpływa na czynniki kształtujące popyt na przewozy żeglugą śródlądową. Warunki nawigacyjne przekładają się bezpośrednio na podstawowe parametry konstrukcyjne taboru wykorzystywanego do przewozów w żegludze śródlądowej, w tym na stosunkowo małą ładowność barek, jak również na wielkość przewozów [Główny Urząd Statystyczny, 2014].

Dyrektywa 2005/44/WE Parlamentu Europejskiego i Rady w sprawie zharmonizowanych usług informacji rzecznej (Rzeczny System Informacyjny, River Information Service - RIS) na śródlądowych drogach wodnych we wspólnocie określa kilka najważniejszych celów wdrożenia systemu RIS:

- poprawa bezpieczeństwa i wydajności transportu śródlądowego,
- poprawa oddziaływania na środowisko naturalne na śródlądowych drogach wodnych,
- promocja żeglugi śródlądowej, turystyki i rekreacji wodnej.
- doprowadzenie do zharmonizowanego, otwartego i interoperacyjnego dostępu do informacji.

Obowiązek wdrożenia RIS w krajach członkowskich dotyczy wszystkich śródlądowych dróg wodnych klasy IV lub wyższej, które są połączone z drogami wodnymi innego Państwa Członkowskiego.

Odcinek drogi wodnej Wisły od Warszawy do Gdańska nie jest drogą wodną klasy IV, jest natomiast częścią śródlądowych dróg wodnych o znaczeniu międzynarodowym E70 i E40, a ponieważ Polski Rząd ratyfikował Europejskie Porozumienie w Sprawie Głównych Śródlądowych Dróg Wodnych o Międzynarodowym Znaczeniu (European Agreement on Main Inland Waterways of International Importance -AGN) w perspektywie 2015-2020 szlaki te powinny zostać dostosowane do IV klasy żeglowności. W związku z tym, należy rozpocząć prace mające na celu wprowadzenie zdefiniowanych usług RIS oraz zapewnienie ich interoperacyjności z istniejącymi systemami RIS na analizowanym odcinku Dolnej Wisły.

Wprowadzenie systemu RIS ma na celu zintegrowanie i wykorzystanie informacji płynących ze wszystkich czujników i urządzeń instalowanych na jednostce pływającej oraz dodatkowo pozyskiwaniu informacji z zewnątrz. Zważając na obowiązki jakie wynikają z przepisów żeglugowych nakładanych na kierownika statku i konieczności zapoznania się

z bieżącą sytuacją hydrometeorologiczną oraz locją danego akwenu przed rozpoczęciem podróży, system RIS ułatwi dostęp do informacji oraz przyśpieszy proces decyzyjny.

RIS ma na celu również zintegrowanie środowiska żeglugowego w całej Europie i zwiększenie konkurencyjności poprzez czytelny i jasny przekaz informacji pomiędzy użytkownikami z różnych krajów. Wpłynie to pozytywnie na rozwój żeglugi śródlądowej i otworzy nowe zagraniczne rynki usług dla lokalnych przewoźników.

Zgodnie z wytycznymi do wdrożenia RIS system powinien charakteryzować się następującymi usługami [PIANC, 2012]:

1. Usługa informacyjna o drodze wodnej (ang. Fairway Information Services FIS) obejmuje informacje geograficzne, hydrologiczne i administracyjne wykorzystywane przez kapitanów statków i armatorów do zarzadzania flotą, planowania, realizacji i monitorowania rejsu. FIS obejmuje wyłącznie infrastrukturę drogi wodnej, nie dotyczy ruchu jednostek pływających.

2. Usługa informacyjna o ruchu - taktyczne i strategiczne informacje o ruchu (ang. Tactical Traffic Image TTI and a Strategic Traffic Image STI) prezentuje informacje dotyczące charakterystyki jednostek pływających oraz relację ich w stosunku do drogi wodnej – prognoza oraz analiza ruchu żeglugowego.

3. Zarządzanie ruchem (ang. Traffic Management TM) to usługa dedykowana dla administracji drogi wodnej. Odnosi się do zarządzania ruchem porównywalnym do VTS oraz administrowaniem śluzami i ruchomymi mostami.

4. Usługa wspomagania działań ratowniczych i łagodzenia skutków katastrof (ang. Calamity Abatment Support CAS) obejmuje wspieranie Centrów Zarządzania Kryzysowego, Straży Pożarnej, Policji, Ratownictwa Wodnego oraz innych służb. Usługa wspomaga działania podczas akcji ratowniczych i sytuacji kryzysowych.

5. Planowanie podróży (ang. Voyage Planning VP) to usługa obejmująca planowanie czasu podróży, informacje o maksymalnym możliwym zanurzeniu statku i spodziewanego czasu dotarcia do portu (ang. Estimated Time of Arrival ETA).

6. Zarządzanie portem i terminalami (ang. Port and Terminal Management PTM) to usługa dedykowana dla zarządów portów, obejmuje informacje dotyczące czasu ETA, zasobów portowych, dostępności terminali.

7. Zarządzanie ładunkiem i flotą (ang. Cargo and Fleet Management CFM) to usługa dedykowana dla armatorów statków, która umożliwia uzyskanie informacji strategicznych o jednostkach pływających oraz umożliwia negocjacje pomiędzy statkiem a terminalem.

8. Informacje dotyczące egzekwowania prawa (ang. Information for Law Enforcement ILE) to usługa wspierająca informacje dotyczące przestrzegania i egzekwowania przepisów prawnych z zakresu przekraczania granicy, przepisów żeglugowych, wymagań dla bezpieczeństwa ruchu oraz ochrony środowiska.

9. Usługa statystyczna (ang. Statistic Information ST) pozwala zbierać informacje kluczowe dla opracowań statystycznych związanych z ruchem żeglugowym.

Wdrożenie systemu zharmonizowanych usług informacji rzecznej (RIS) na rzece Wiśle przy obecnych parametrach drogi wodnej nie jest obowiązkowe, lecz system ten pozwala na realizację czterech kluczowych celów, które już dziś są istotne z punktu widzenia rozwoju żeglugi śródlądowej i może być narzędziem kontroli ryzyka. Cele te obejmują:

- poprawę bezpieczeństwa i wydajności transportu śródlądowego,
- poprawę oddziaływania na środowisko naturalne na śródlądowych drogach wodnych,
- promocję żeglugi śródlądowej, turystyki i rekreacji wodnej.
- doprowadzenie do zharmonizowanego, otwartego i interoperacyjnego dostępu do informacji [Wołejsza P. i inni, 2014].

Najważniejszym aspektem systemu wspomagającego żeglugę na odcinku Dolnej Wisły między Warszawą a Gdańskiem jest łatwy i powszechny dostęp do wszystkich niezbędnych informacji dla użytkownika drogi wodnej. System umożliwi prosty dostęp do danych związanych z sytuacją nawigacyjną, hydrologiczną i meteorologiczną i wpłynie na poprawę bezpieczeństwa żeglugi.

5.5 Analiza efektywności ekonomicznej

Metoda efektywności ekonomicznej – CBA (Cost Banefit Analysis) jest szeroko stosowana w analizach ryzyka. Metoda ta zakłada konieczność każdorazowego przeprowadzenia optymalizacji kosztów według zależności:

$$\min(K) = \min[I+E(D)] \tag{5.9}$$

gdzie:
K – koszty całkowite,
I – wydatki na podwyższenie bezpieczeństwa,
$E(D)$ – średnie starty ekonomiczne.

Wartością docelową (kryterialną) jest wartość optymalna wynikająca z minimalizacji nakładów w stosunku do spodziewanych zysków. Problemem jest w tym przypadku wybór metody wartościowania życia ludzkiego [Gucma L., 2009].

Częstość występowania zdarzenie, którego skutkiem była śmierć wynosi 3/10 lat. W przypadku uszczerbku na zdrowiu wynosi częstość wynosi 10/rok.

5.6 Rekomendacje do podejmowania decyzji

Rekomendacje do podejmowania decyzji opierają się na kryterium akceptowalności ryzyka i kosztów efektywności opcji kontroli ryzyka. Przejrzystość i porównywalność rekomendacji opartych na takich kryteriach, wpłynie na poprawienie bezpieczeństwa, jeżeli będą one stosowane.

Różne dane wliczając w to rezultat z identyfikacji zagrożeń i dane statystyczne ofiar, zostały użyte do określenia ilościowego i szacowania prawdopodobieństwa wystąpienia zdarzeń początkowych

Przedstawiona metoda formalnej metodologii oceny bezpieczeństwa żeglugi do oceny systemu bezpieczeństwa żeglugi śródlądowej na Dolnej Wiśle została oparta na wnikliwej analizie szacowania ryzyka.

Zakończenie

W wytycznych w sposób syntetyczny przedstawiono procedury i metody stosowane w zarządzaniu ryzykiem na akwenach morskich, które można zastosować na śródlądowych drogach wodnych.

Zarządzanie ryzykiem jest procesem skomplikowanym, obarczonym często dużą niepewnością. Skala możliwych konsekwencji wypadków sprawia, że powinno być wykonane z ogromną starannością i użyciem wszystkich nowoczesnych dostępnych metod i środków.

Brak regulacji prawnych w zakresie zarządzania ryzykiem na polskich obszarach morskich i śródlądowych powoduje oczywisty niedobór informacji na ten temat i trudności w szacowaniu aktualnego poziomu ryzyka, potencjalne obniżenie poziomu bezpieczeństwa.

Wytyczne powinny wypełnić lukę w piśmiennictwie polskim w zakresie zarządzania ryzykiem na obszarach śródlądowych i być powodem do dyskusji nad wprowadzaniem regulacji do tego tak ważnego obszaru działalności ludzkiej.

Wytyczne nie wyczerpują całej gamy zagadnień związanych z zarządzaniem ryzykiem śródlądowym.

Literatura

1. Bolt A., Jerzyło P., *Determinants of inland navigation on the Vistula from Warsaw to Gdańsk*, „ Acta Energetica" 2013 nr 2/15,
2. Borysiewicz M., Furtek A., Potempski S., *Poradnik metod oceny ryzyka związanego z niebezpiecznymi instalacjami procesowymi*, Otwock-Świerk, 2000,
3. Brandowski A., *Metodyka Formalnej Oceny Bezpieczeństwa Żeglugi (FSA),* Gdańsk 1998,
4. Brandowski A., *Metodyka Formalnej Oceny Bezpieczeństwa Żeglugi (FSA),* Publikacja Informacyjna NR 19/1, PRS, Gdańsk, 2002,
5. Dz.U. 2001 Nr 5 poz. 43, ustawa z dnia 21 grudnia 2000 r. *o żegludze śródlądowej*
6. Dz.U. 2002 Nr 17 poz. 161, ustawa z dnia 22 stycznia 2001 r. *w sprawie szczegółowego trybu postępowania w związku z wypadkami żeglugowymi na śródlądowych drogach wodnych.*
7. Dz. U. z 2002 nr 77 poz. 695, rozporządzanie rady ministrów z dnia 7 maja 2002, *w sprawie klasyfikacji śródlądowych dróg wodnych,*
8. Dz. U. z 2012 Nr 0, poz. 145, ustawa z dnia 18 lipca 2001 r., *Prawo wodne*,
9. Gaca S., Suchorzewski W., Tracz M., *Inżynieria ruchu drogowego. Teoria i Praktyka*, Warszawa 2008,
10. Główny Urząd Statystyczny, *Urząd Statystyczny w Szczecinie, Żegluga śródlądowa w Polsce w latach 2010-2013,* Warszawa 2014,
11. Główny Urząd Statystyczny, *Transport wodny Śródlądowy w Polsce w 2014 r., Opracowanie sygnalne*, Warszawa 2015,
12. Gucma L., *Wytyczne do zarządzania ryzykiem morskim,* Wydawnictwo Naukowe Akademii Morskiej, Szczecin 2009,
13. Guidelines and Recommendations for River Information Services, Edition 3.0; 2011. *As elaborated by the Permanent Working Group 125 of the World Association for Waterborne Transport Infrastructure PIANC and published by PIANC in its report of 2011.* Translated and edited text adopted by the CCNR Working Group on RIS on 30th August 2012.
14. Huber Z., *Analiza FMEA procesu,* 2007,
15. Jerzyło P., W. Magda, „*Zarządzanie bezpieczeństwem morskim z wykorzystaniem Formalnej Oceny Bezpieczeństwa Żeglugi na przykładzie Zatoki Pomorskiej",* „Inżynieria Morska i Geotechnika", str. 276-284, Gdańsk 2011,

16. *Jerzyło P.: Modelowanie strumienia ruchu środków transportu śródlądowego w delcie Wisły – analiza dostępnych połączeń transportowych*, TTS Technika Transportu Szynowego nr. 12 (2015), s.724-729,
17. Jerzyło P., Ślączka W.: *Analiza warunków eksploatacyjnych w dolnych odcinkach Odrzańskiej Drogi Wodnej i Wiślanej Drogi Wodnej*, Autobusy. Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe, nr. 12 (2016), s.1780-1784
18. Kulczyk J., Winter J., *Śródlądowy transport wodny, Wrocław 2003.*
19. Kontovas Ch. A. *Formal Safety Assessment: Critical Reviewand and Future Role,* Diploma Thesis, University of Athens, 2005,
20. Kontovas Ch. A., Psaraftis H. N., *Formal Safety Assessment: A Critical Review,* Marine Technology and Sname News, Volume 46, Number 1, January 2009,
21. Kopacz Z., Morgaś W., Urbański J., *Formalna i Nieformalna Ocena Bezpieczeństwa Morskiego,* Zeszyty Naukowe AMW nr 3, 2005,
22. Kopacz Z., Morgaś W., Urbański J., *Próba Przedstawienia Zasad Stosowania Formalnej Oceny Bezpieczeństwa Morskiego (FSA),* Zeszyty Naukowe AMW nr 4, 2006,
23. Kopacz Z., Morgaś W., Urbański J., *Metody oceny bezpieczeństwa morskiego,* Zeszyty Naukowe AM w Szczecinie nr 11, 2006,
24. Kristiansen S. *Maritime Transportation: Safety Management and Risk Analysis,* Elsevier Butterworth Heinemann, UK, 2005,
25. Krystek R., *Zintegrowany system bezpieczeństwa transport, uwarunkowania rozwoju integracji systemów bezpieczeństwa transportu,* Tom II, Gdańsk 2009,
26. Młyńczak M. *Analiza ryzyka w transporcie i przemyśle,* Wrocław, 1997,
27. Morgaś W., Specht C., Urbański J., *Bezpieczeństwo Morskie – Ocena i Kontrola Ryzyka*, Zeszyty Naukowe AMW nr 2, 2008,
28. MSC 69/INF.14 *Formal Safety Assessment*, IMO, Londyn, 12.02.1998r.
29. MSC/Circ.1022 MEPC/Circ.391 *Guidance on the use of human element analyzing process (HEAP) and formal safety assessment (FSA) in the IMO rule making process,* IMO, Londyn 16.05.2002.
30. MSC/Circ.1023 MEPC/Circ.392 *Guidelines for formal safety assessment (FSA) for use in the IMO rule-making process,* IMO, Londyn 05.04.2002.
31. MSC/Circ.1180 MEPC/Circ.474 *Amendments to the guidelines for formal safety assessment (FSA) for use in the IMO rule-making process (MSC/Circ.1023 – MEPC/Circ.392),* IMO, Londyn 25.08.2005.

32. MSC-MEPC.2/Circ.5 *Amendments to the guidelines for formal safety assessment (FSA) for use in the IMO rule-making process (MSC/Circ.1023 – MEPC/Circ.392),* IMO, Londyn 16.10.2006.
33. MSC-MEPC.2/Circ.6 *Amendments to the guidance on the use of human element analysing process (HEAP) and formal safety assessment (FSA) in the rule-making process of IMO (MSC/Circ.1022 – MEPC/Circ.391),* IMO, Londyn 16.10.2006.
34. Orymowska, J., Pilip, K., *Możliwość wykorzystania metodologii FSA do analizy ryzyka przejścia statku nad rurociągiem,* Autobusy : technika, eksploatacja, systemy transportowe, nr 12, str. 714-717, 2016,
35. Pawlak M., Piaseczny L., *Modelowanie ruchu jednostek morskich dla określenia emisji związków toksycznych spalin*, Czasopismo Techniczne z.7-M/2008, Kraków 2008,
36. Waterways Guidelines 2011,
37. Wołejsza P., Jędrzychowski H., Jędrzychowski K., Karkos D., Kazimierski W., Wiśnicki B., *Modernizacja wodnych dróg śródlądowych i portów morskich*, Warszawa 2014,
38. Wszelaczyński W., *Drogi wodne śródlądowe*, Gdańsk 1990,

Spis rysunków

Rys. 1 Kryteria oceny bezpieczeństwa nawigacji [Gucma L., 2009] 9
Rys. 2 Algorytm postępowania w procedurze HAZOP [Kristiansen S., 2005] 12
Rys. 3 Algorytm tworzenia drzewa błędów [Kristiansen S., 2005] 15
Rys. 4 Drzewo błędów dla awarii technicznej statku 18
Rys. 5 Analiza drzewa zdarzeń 20
Rys. 6 Drzewo zdarzeń [Kristiansen S., 2005] 21
Rys. 7 Algorytm postępowania przy wykonywaniu analizy niezawodności człowieka [Kristiansen S., 2005] 26
Rys. 8 Drzewo zdarzeń analizy niezawodności ludzkiej [Kristiansen S., 2005] 27
Rys. 9 Modelowanie wg zasad wykorzystywanych w THERP [Kristiansen S., 2005] 28
Rys. 10 Schemat formalnej oceny bezpieczeństwa żeglugi (FSA) wg IMO [MSC 69/INF.14] 31
Rys. 11 Elementy zintegrowanego systemu [MSC/Circ.1023 MEPC/Circ.392] 31
Rys. 12 Algorytm sekwencji działań w FSA [Kontovas Ch. A., Psaraftis H. N., 2009] 32
Rys. 13 Elementy oceny ryzyka [Brandowski A., 2002] 38
Rys. 14 Wykres krzywej F – N dla różnych typów statków [MSC-MEPC.2/Circ.5] 40
Rys. 15 Diagram RID [[Brandowski A., 2002] [Kristiansen S., 2005] 40
Rys. 16 Proces kwantyfikacji szacowania ryzyka często wykorzystywany w FSA [Kristiansen S., 2005] [MSC/Circ.1023 MEPC/Circ.392] 41
Rys. 17 Kryteria akceptowalności ryzyka dla ludzi i mienia [Kontovas Ch. A., Psaraftis H. N., 2009] [MSC-MEPC.2/Circ.5] 42
Rys. 18 Kontrola ryzyka [Morgaś W., Specht C., Urbański J., 2008] 43
Rys. 19 Algorytm procesu wydawania rekomendacji dla decydentów [Brandowski A., 2002] 51
Rys. 20 Powiązanie systemu zarządzania bezpieczeństwem z procedurą zarządzania ryzykiem [Krystek R., 2009] 52
Rys. 21 Wykres intensywności ruchu statków w porcie w Świnoujściu 56
Rys. 22 Wykres częstości występowania wypadków 62
Rys. 23 Drzewo zdarzeń 62
Rys. 24 Drzewo błędu 63
Rys. 25 Krzywa F – N dla analizowanych wypadków 64
Rys. 26 Drzewo Rozkładu Ryzyka 65
Rys. 27 Łańcuch zdarzeń 66
Rys. 28 Schemat tworzenia bazy danych 73
Rys. 29 Fragment matematycznego modelu koryta rzeki Wisły 76

Rys. 30 Strumienie ruchu na Dolnej Wiśle _____ *77*

*Rys. 31 Intensywność ruchu statków na Dolnej Wiśle w latach 2010 – 2014*_____ *78*

Spis tabel

Tabela 1 Słowa przewodnie wykorzystywane w technice HAZOP *11*

Tabela 2 Przykładowy arkusz pracy w analizie HAZOP *12*

Tabela 3 Wady i zalety systemu HAZOP *13*

Tabela 4 Wykaz symboli bramek wykorzystywanych w FT [Kristiansen S., 2005] *16*

Tabela 5 Wykaz symboli zdarzeń wykorzystywanych w FT [Kristiansen S., 2005] *17*

Tabela 6 Klasy częstości [Huber Z., 2007],[Kristiansen S., 2005] *22*

Tabela 7 Klasy skutków dla użytkownika [Huber Z., 2007],[Kristiansen S., 2005] *23*

Tabela 8 Wskaźnik do przyjmowania liczby W [Huber Z., 2007][Kristiansen S., 2005] *23*

Tabela 9 Metoda FMEA *24*

Tabela 10 Przykładowe błędy ludzkie *25*

Tabela 11 Wartość przedstawienia kształtującego czynnik w THERP [Kristiansen S., 2005] *29*

Tabela 12 Przykładowe zagrożenia wynikające z przeprowadzonej identyfikacji zagrożeń [MSC/Circ.1023 MEPC/Circ.392] *36*

Tabela 13 Kryteria ciężkości skutków [Brandowski A., 2002] *38*

Tabela 14 Kryteria prawdopodobieństwa [Brandowski A., 2002] *38*

Tabela 15 Macierz ryzyka [Brandowski A., 2002] *39*

Tabela 16 Ilościowa ocena ryzyka [MSC-MEPC.2/Circ.5] *42*

Tabela 17 Analiza skutków wypadków *47*

Tabela 18 Ograniczenia i zakres stosowalności metod szacowania prawdopodobieństwa wypadków nawigacyjnych [Gucma L., 2009] *53*

Tabela 19 Intensywność ruchu statków w porcie w Świnoujściu *56*

Tabela 20 Rodzaje i liczba wypadków na Zatoce Pomorskiej i w porcie w Świnoujściu *57*

Tabela 21 Analiza HAZOP *57*

Tabela 22 Ranking zagrożeń wg FMEA *59*

Tabela 23 Tabela przyczyn i skutków wypadków *60*

Tabela 24 Tabela częstości wystąpienia zdarzenia *60*

Tabela 25 Częstość występowania wypadków *61*

Tabela 26 Wypadki ze skutkiem śmiertelnym *63*

Tabela 27 Koszt kryteriów skuteczności [MSC-MEPC.2/Circ.5] *68*