

MOŻLIWOŚĆ WYKORZYSTANIA METODOLOGII FSA DO ANALIZY RYZYKA PRZEJŚCIA STATKU NAD RUROCIĄGIEM

Znaczący postęp technologiczny połączony z minimalizacją kosztów i opłacalnością produkcji nowych instalacji przesyłowych, spowodowały w ostatnich latach intensywny rozwój sektora offshore w Polsce, Europie i na świecie. Efektem tego jest duże zagęszczenie podwodnej liniowej infrastruktury przesyłowej (LIP) – rurociągów czy kabli podmorskich. Obszarami szczególnie niebezpiecznymi w zakresie eksploatacji LIP są rejony przybrzeżne, gdzie wzmożona jest intensywność ruchu statków. W celu zminimalizowania ryzyka uszkodzeń sieci, należy już podczas projektowania, a następnie budowy, przeprowadzić szereg analiz dotyczących m.in. aspektów wytrzymałości i doboru materiałów, lokalizacji w aspekcie bezpiecznej nawigacji, wpływu warunków pogodowych oraz intensywności ruchu statków na powierzchni z uwzględnieniem ich ewentualnego wpływu podczas przepływania nad rurociągiem.

W artykule skupiono się na ostatnim z wymienionych czynników. Autorzy omówili dostępne metody analizy ryzyka (FSA), wybrali optymalną do przedstawionego problemu, rozpatrzyli możliwe scenariusze zagrożeń i zaproponowali działania niezbędne do uniknięcia bądź zminimalizowania wystąpienia takich przypadków.

WSTĘP

Formalna Ocena Bezpieczeństwa (FSA - Formal Safety Assessment) jest metodą standaryzacji bezpieczeństwa, ustalania odpowiedniej polityki zarządzania oraz wspomaganie procesów zarządzania bezpieczeństwem. Podstawowymi, a zarazem najbardziej złożonymi zagadnieniami FSA są: identyfikacja zagrożenia oraz szacowanie ryzyka. Kolejnym elementem jest wybór metody i techniki umożliwiającej sterowanie poziomem ryzykiem, a także określenie kosztów wdrożenia opracowanych metod kontroli ryzyka i propozycja rozwiązań dla decydentów.

W procesie Formalnej Analizy Ryzyka stosowane są m. in. metody opracowane przez Straż Przybrzeżną Stanów Zjednoczonych – Port and Waterways Safety Assessment (PAWSA) czy opracowany przez Międzynarodowe Stowarzyszenie Administracji Systemów Nawigacyjnych i Latarni Morskich (IALA), program IALA Waterway Risk Assessment Program (IWRAP). Jednak najbardziej uniwersalne i najczęściej stosowane są wytyczne do przeprowadzania Formalnej Analizy Ryzyka zawarte w cykularzu MSC/Circ.1023., opracowanym przez Międzynarodową Organizację Morską (IMO).

W związku z tym, że wspomniany poradnik ma charakter uniwersalny, może być stosowany do oceny bezpieczeństwa morskiego w różnych warunkach i na różnych akwenach. Odnieść go również można do wszelkich wypadków morskich oraz wszystkich typów statków [3].

Autorzy wykorzystując wytyczne opracowane przez IMO, podjęli próbę przeprowadzenia Formalnej Analizy Ryzyka przejścia statku nad rurociągiem. Rozpatrzono dwa scenariusze, w których zawodność urządzeń lub niekorzystne warunki hydrometeorologiczne, przy założeniu braku błędu ludzkiego, stanowią przyczynę zdarzenia inicjującego wypadek. Pierwszy z nich dotyczy awaryjnego rzucenia i zaklinowania kotwicy o rurociąg, a drugi zahaczenia narzędzi połowowych w wyniku zdryfowania statku, podczas złych warunków pogodowych [5].

1. ALGORYTM FORMALNEJ ANALIZY RYZYKA WEDŁUG IMO.

Algorytm Formalnej Analizy Ryzyka składa się z pięciu etapów. Pierwszy z etapów ma na celu zidentyfikowanie zagrożenia. Składa się ze zdefiniowania zdarzenia inicjującego, określenia jego przyczyn, a następnie opisu rozwoju sytuacji i związanych z nią konsekwencji. Standardowymi metodami służącymi do identyfikacji zagrożeń są m.in. Technika Słów Kluczowych (HAZOP), technika Analizy Drzewa Niezdatności (FTA), technika używana do programów komputerowych (FMEA), technika Analizy Drzewa Zdarzeń (ETA). Istnieje także technika stosowana do analizy niezawodności człowieka (THERP).

Drugim etapem jest oszacowanie ryzyka, podczas którego należy odpowiedzieć na trzy podstawowe pytania:

1. Co może zawieść?
2. Jak to jest prawdopodobne?
3. Co jest skutkiem?

Polega ono na wyznaczeniu jakościowego lub ilościowego ryzyka wypadków, a następnie dokonaniu oceny ich w macierzy ryzyka. Kryteria jakościowe określają opisowo prawdopodobieństwo zaistnienia wypadków oraz ich konsekwencji. W tym celu wykorzystuje się dane historyczne, opinie ekspertów bądź prognozowanie częstości zdarzeń. W aspekcie konsekwencji, szacowane są jako straty w urządzeniach, ludziach czy środowisku.

Kryteria ilościowe natomiast, określają przybliżoną liczbową wartość prawdopodobieństwa. Używa się m.in. w tym celu dopuszczalnych prawdopodobieństw (duże, małe, bardzo małe), stosownie do wagi ich konsekwencji [3].

Etap trzeci to opracowanie opcji sterowania i kontroli ryzyka. Sprowadza on się do określenia najbardziej wrażliwych obszarów, odnosząc się do wysokiego poziomu ryzyka, prawdopodobieństwa wystąpienia wypadku, ciężkości konsekwencji wypadku, które można przedstawić w postaci łańcuchów zależności.

Czwartym etapem jest oszacowanie kosztów wynikających z wdrożenia opcji kontroli ryzyka oraz wynikających z tego korzyści.

Wyznaczane są koszty i korzyści jednostkowe dla każdej opcji kontroli ryzyka dla każdej zainteresowanej strony (np. statek, armator, itd.).

Ostatni etap, to wydanie zaleceń dla decydentów. W przypadku zawodności urządzeń, jest to informacja dla armatora o konieczności wprowadzenia na statki wymogu częstszej kontroli sprawności ich działania, bądź wytyczne dla biur projektowych dotyczące modyfikacji i usprawniania mechanizmów. Rysunek 1 przedstawia 5 kroków Formalnej Analizy Ryzyka.



Rys.1. Pięć kroków Formalnej Analizy Ryzyka wg IMO [4]

2. STATEK MANEWRUJĄCY W OBSZARZE RUROCIĄGU.

Jedną z sytuacji awaryjnych, w której może znaleźć się statek poruszający się w pobliżu ułożonego na dnie – patrz 2.1.1 i 2.1.2 dnie rurociągu jest możliwość zaczepienia się urządzenia połowowego lub dragowanej kotwicy o rurociąg. W części przypadków możliwe jest uwolnienie narzędzi samoistnie bądź poprzez odpowiednie manewry. W większości takich sytuacji, uszkodzeń dozna jedynie statek lub jego wyposażenie, np. utraci narzędzia połowowe, dojdzie do zerwania kotwicy czy zniszczenia wind kotwicznych. Jednak w skrajnych przypadkach brak możliwości odzyskania narzędzi połowowych czy kotwicy może prowadzić do przechyłu statku, utraty stateczności, a w konsekwencji nawet do zatonięcia statku i jego załogi. Przykładem jest sytuacja mająca miejsce na wodach brytyjskich w 1997 r., kiedy statek wyrzucił się i ostatecznie zatonął podczas próby odzyskania zaklinowanego włoka [1].

2.1. Identyfikacja zagrożenia.

Do identyfikacji zagrożeń występujących podczas przejścia statku nad rurociągiem zastosowano w artykule technikę analizy drzewa zdarzeń (ETA). Przyjęto następujące założenia:

- kadra na statku jest wysoko wykwalifikowana i podejmuje jedynie słuszne decyzje w momencie wystąpienia zagrożenia,
- ruch statków w pobliżu nie wpływa na rozwój wydarzeń.

Statek połowiący włokiem w pobliżu rurociągu.

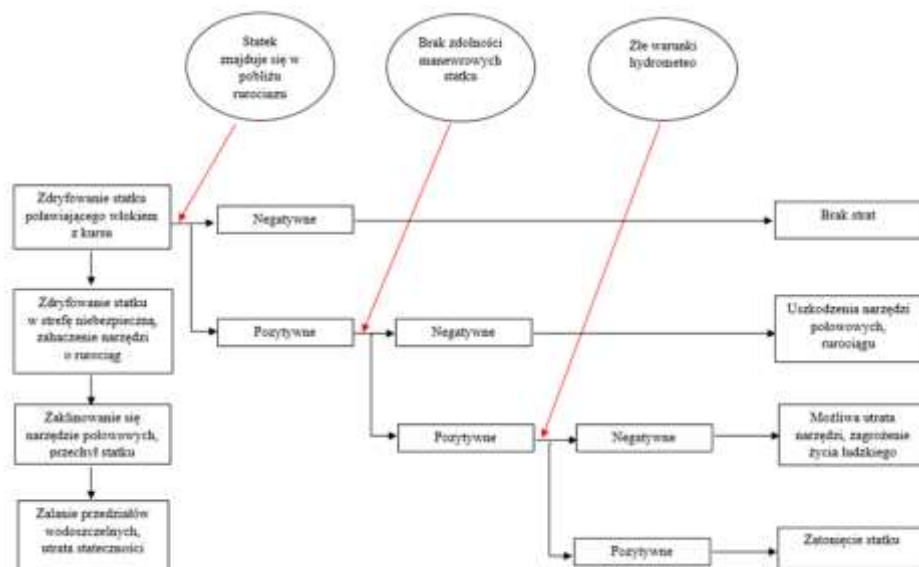
Poniżej przedstawiono drzewo zdarzeń statku połowiącego włokiem, w pobliżu rurociągu. Podczas niekorzystnych warunków hydrometeorologicznych dochodzi do dryfowania statku w strefę niebezpieczną, gdzie na dnie położony jest rurociąg, konsekwencją czego może być zahaczenie o niego narzędzi połowowych. Autorzy rozpatrzyli następnie trzy przypadki – skuteczne odzyskanie narzędzi połowowych, możliwość zerwania ich lub zaklinowanie. Ostatni ze scenariuszy jest najbardziej niepożądany ze względu na katastroficzne konsekwencje, do których w konsekwencji może doprowadzić. Skutkiem może być przechył statku, zalanie przedziałów wodoszczelnych, utrata stateczności, a finalnie nawet zatonięcie statku, co stanowi zagrożenie dla życia ludzkiego oraz środowiska naturalnego. Opisane drzewo zdarzeń przedstawia rysunek 2 [1].

Statek rzucający awaryjnie kotwicę w pobliżu rurociągu.

Drugie drzewo zdarzeń przedstawia statek znajdujący się w pobliżu rurociągu, na którym doszło do zaniku napięcia i którego załoga została zmuszona do awaryjnego rzucenia kotwicy. Niekorzystne warunki hydrometeorologiczne – głównie bardzo silny wiatr, powodują zdryfowanie statku dragującego za sobą kotwicę w strefę, na dnie której ułożony jest rurociąg. Jako efekt zdarzenia autorzy przyjęli zahaczenie kotwicy o rurociąg, co skutkować może bezawaryjnym jej odzyskaniem, zerwaniem kotwicy, albo w najgorszym przypadku zaklinowaniem się. Ostatni ze scenariuszy jest najbardziej niepożądany ze względu na katastroficzne konsekwencje, do których może prowadzić w przypadku małych jednostek (np. jachtu). Skutkiem jest tak jak w przypadku zaklinowanych narzędzi połowowych początkowo przechył statku, później zalanie przedziałów wodoszczelnych, utrata stateczności, a finalnie nawet zatonięcie statku. Opisane przez autorów drzewo zdarzeń przedstawia rysunek 3.

2.2. Jakościowa analiza ryzyka.

Na tym etapie, w obu przypadkach autorzy oszacowali ryzyko



Rys. 2. Drzewo zdarzeń statku połowiącego włokiem w pobliżu rurociągu. [Opracowanie własne]

wystąpienia scenariusza prowadzącego do najpoważniejszych konsekwencji, czyli utraty statku, zdrowia i życia ludzkiego (konsekwencje określane jako katastroficzne). Częstość wystąpienia zdarzenia analizowano na podstawie danych z przeszłości dotyczących występowania takich przypadków w latach 1978 – 2010. Skorzystano z World Offshore Accidents Data (WOAD), największej bazy danych zawierającej dane o wypadkach w morskim przemyśle offshore. Prawdopodobieństwo wystąpienia opisanego przez autorów scenariusza określono jako bardzo małe zarówno w jednym jak i drugim przypadku. W wyniku jakościowej analizy ryzyka, autorzy opracowali dwie, wyglądające bardzo podobnie macierze, przedstawione w tabelach 1 i 2.

Tab.1. Macierz ryzyka statku połowiącego włokiem w pobliżu rurociągu [Opracowanie własne]

Prawdopodobieństwo zahaczenia narzędzi połowowych o rurociąg	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

Tab. 2. Macierz ryzyka statku połowiącego włokiem w pobliżu rurociągu [Opracowanie własne]

Prawdopodobieństwo zahaczenia narzędzi połowowych o rurociąg	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

gdzie:

- A – ryzyko akceptowalne
- U – ryzyko umiarkowane
- N – ryzyko nieakceptowalne

Rezultatem szacowania ryzyka jest klasyfikacja do określonych poziomów ryzyka (akceptowalnego, umiarkowanego i nieakceptowalnego). Warunkuje to hierarchię podejmowanych działań mających na celu redukcję ryzyka.

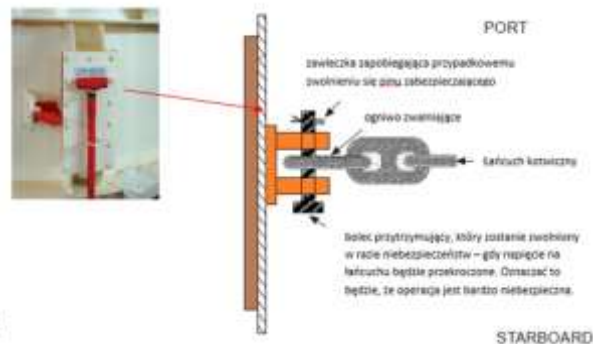
2.3. Sterowanie i kontrola ryzyka.

Ze względu na założenia przyjęte w artykule, w obu przypadkach sposoby sterowania ryzykiem ukierunkowane są na łagodzenie skutków wypadków.

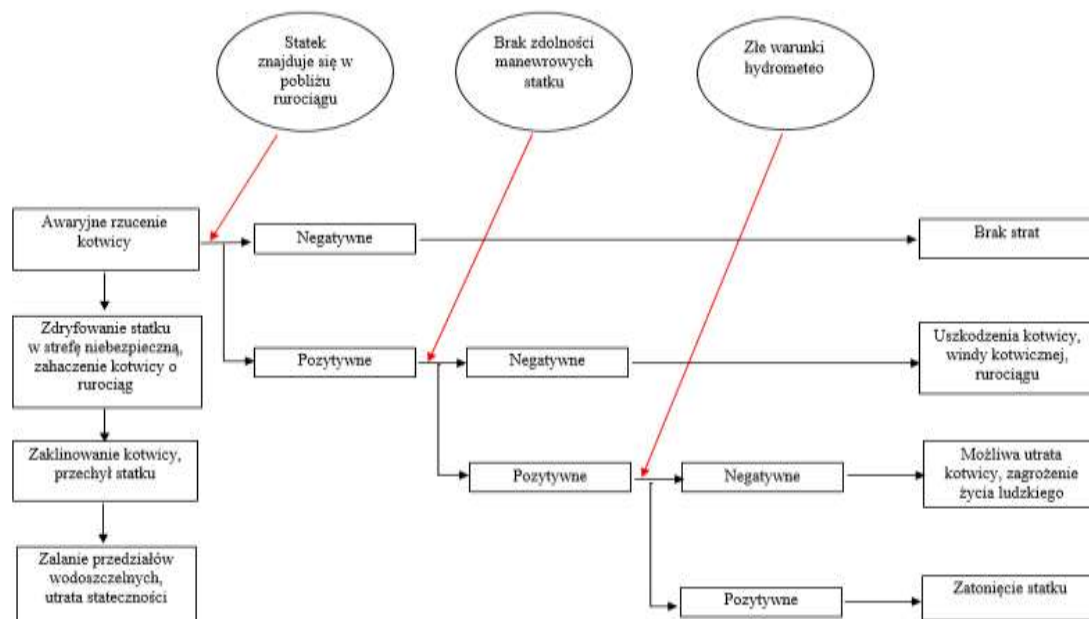
W przypadku dotyczącym statku połowiącego w ruchu autorzy skupili się na wyeliminowaniu najcięższych konsekwencji, czyli przeciwdziałaniu zatonięcia statku oraz utraty zdrowia lub życia ludzkiego. We wstępie przyjęto założenie nieomyślności człowieka, przez co jedyne poprawki można wprowadzić na etapie projektowania i wyposażenia statku. Załoga nie ma wpływu na niespodziewane zmiany warunków hydrometeorologicznych oraz niezawodność sprzętu. Dla połowiącego włokiem statku w ruchu, przyjęto następujące rozwiązania dla opcji sterowania ryzykiem:

- wyposażenie statków w urządzenia, które w momencie krytycznym np. zbyt dużego naprężenia łańcuchów/elementów mocujących spowodują samouwolnienie się narzędzi połowowych.

Sposobem kontroli jaki zostanie wprowadzony na statki będzie według autorów testowanie narzędzi połowowych i mechanizmów zwalnających każdorazowo przed wyjściem z portu i rozpoczęciem połowiania, co mogłoby być weryfikowane odpowiednią listą kontrolną zgodną ze statkowym SMS (Safety Management System). Oprócz tego, mechanizm powinien być poddawany regularnym oglądom podczas okresowych inspekcji i wymieniany w przypadku rdzewienia lub uszkodzeń mechanicznych.



Rys.6. Mechanizm pozwalający na zwolnienie łańcucha kotwicznego, w sytuacji awaryjnej[2]



Rys. 3. Drzewo zdarzeń statku awaryjnie rzucającego kotwicę. [Opracowanie własne]

Według ustaleń autorów na statkach podlegających Konwencji SOLAS, ostatnie ogniwo łańcucha kotwicznego jest zamocowane w komorze łańcuchowej za pośrednictwem haka odrzutnego, który można zdalnie zwolnić w przypadku wystąpienia awarii. Poza tym, część statków posiada mechanizm (ang. *bitter end*) pozwalający na zwolnienie łańcucha kotwicznego, w sytuacji awaryjnej. Składa się on z bolca zabezpieczającego i przytrzymującego ostatnie ogniwo łańcucha, który jest dodatkowo asekurowany przez zawleczkę zapobiegającą przypadkowemu zwolnieniu ogniwa, co przedstawia Rysunek 6 [2]. W razie awarii, bolec powinien zostać usunięty przez jednego z członków załogi poprzez wyjęcie zawleczki, a następnie wybicie bolca przy użyciu specjalnego młota, co spowoduje zwolnienie ostatniego ogniwa łańcucha kotwicznego.

W przypadku statku awaryjnie rzucającego kotwicę rozwiązania będą bardzo podobnie jak w przypadku statku poławiającego. W krytycznym momencie, kiedy zostaną przekroczone naprężenia graniczne, dojdzie do zwolnienia hamulca i „odłączenia” kotwicy od statku.

2.4. Szacowanie kosztów i korzyści wynikających z wdrożenia opcji sterowania ryzykiem.

W celu oszacowania kosztów i korzyści wynikających z wdrożenia opcji sterowania ryzykiem, autorzy posłużyli się wzorami ogólnymi nie przyjmując konkretnych wartości liczbowych. Przedstawione opisowe wzory są uniwersalne, i można zastosować je dla poszczególnych przypadków. Koszty obliczane są zgodnie z następującymi wzorami [3]:

$$\text{koszty brutto} = \frac{\Delta K}{\Delta R}$$

gdzie:

ΔK – jest to koszt wdrożenia opracowanej opcji kontroli ryzyka na jednym statku;

ΔR – redukcja ryzyka (na jednym statku) pod względem ilości zdarzeń niepożądanym, których udało się uniknąć dzięki wdrożonej opcji kontroli ryzyka.

$$\text{koszty netto} = \frac{\Delta K - \Delta Z}{\Delta R}$$

ΔZ – zysk, czyli korzyść ekonomiczna wynikająca z wprowadzenia Opcji Kontroli Ryzyka na jeden statek.

2.5. Wydanie rekomendacji dla decydentów.

Docelowo, zastosowanie FSA dla określonej sytuacji ma na celu wspomaganie podejmowania decyzji z uwzględnieniem ryzyka. W sytuacji dotyczącej statku poławiającego czy awaryjnie rzucającego kotwicę w okolicy rurociągu rekomendacje wydane decydentom mogą przedstawiać się jako aktualizacja przepisów w zakresie urządzeń i wyposażenia statkowego, które wiążą się m.in. z zastosowaniem nowoczesnych metod obliczania wytrzymałości i trwałości urządzeń. Ponadto można byłoby wprowadzić na etapie projektowania wyposażenia statkowego, procedur oraz prób i badań właściwych dla produkowanych urządzeń. Dodatkowo, armatorzy powinni zaktualizować procedury Systemu Zarządzania Bezpieczeństwem i wprowadzić częstsze inspekcje i audyty dotyczące opisywanej płaszczyzny. Wartość uwagi opcją jest także opracowanie nowatorskiego systemu wspomaganie decyzji. Według autorów, zastosowanie powyższych zaleceń pomogłoby zmniejszyć ryzyko wystąpienia opisywanych w artykule przypadków i ich konsekwencji.

PODSUMOWANIE

Bezpieczeństwo morskie a tym samym bezpieczeństwo życia, mienia i środowiska morskiego jest bardzo istotnym problemem.

Formalna Ocena Bezpieczeństwa (FSA - Formal Safety Assessment) jest jednym z narzędzi, którymi możemy się posłużyć aby podnieść poziom bezpieczeństwa. Przedmiotem niniejszego artykułu jest omówienie metodyki analizy ryzyka (FSA) w trakcie przejścia statku nad rurociągiem. Autorzy starali się przedstawić najbardziej istotne elementy dotyczące procesu identyfikacji ryzyka oraz pozostałych kroków FSA dotyczących możliwych scenariuszy dla statku przechodzącego nad rurociągiem. Do identyfikacji zagrożeń autorzy wybrali technikę analizy drzewa zdarzeń ETA, która umożliwia przedstawienie konsekwencji wypadku i analizę jego skutków. Kolejnym krokiem było zaproponowanie działań niezbędnych do uniknięcia bądź zminimalizowania wystąpienia takich przypadków.

BIBLIOGRAFIA

1. Dokumentacja Nord Stream dotycząca Oceny Oddziaływania na Środowisko na potrzeby konsultacji, wymagana Konwencją Espoo. - Nord Stream-Raport Espoo: Dokument dot. kluczowych zagadnień Bezpieczeństwo morskie. Luty 2009.
2. Jerzyło P., Waldemar M., Zarządzanie bezpieczeństwem morskim z wykorzystaniem Formalnej Oceny Bezpieczeństwa Żeglugi na przykładzie Zatoki Pomorskiej, Inżynieria Morska i Geotechnika, str. 276-284, Gdańsk 2011
3. 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.
4. Polski Rejestr Statków - Metodyka Formalnej Oceny Bezpieczeństwa Żeglugi (FSA) 2002
5. Urbański J., Morgaś W., Specht C., Bezpieczeństwo morskie – ocena i kontrola ryzyka, Zeszyty Naukowe Akademii Marynarki Wojennej Nr 2 (173), Gdynia 2008.

FSA methodology to risk analysis of vessel passage over the pipeline

Recent technological advance combined with the minimization of costs and a raise in profitability of production of new investments, has in recent years caused an intensive development of the offshore sector in Poland, Europe and all over the world.

The result of that, is a big density of underwater transmission pipelines and cables especially in coastal areas where traffic intensity is posing a potential threat to the safety of underwater infrastructure. To avoid or minimize the risk of pipeline damage, a significant number of analyses are needed to be conducted, for example aspects of material strength and its selection, location, impact of the weather conditions and intensity of the vessels movements on the sea surface, taking into account their possible impact when passing over the pipeline. This article focuses on the last of the above mentioned factors.

The authors discussed the available methods of risk analysis (FSA), choose the optimal way to solve the problem, considered possible threats scenarios and suggested the necessary moves to avoid or minimize the occurrence of such cases.

Autorzy:

mgr inż. **Joanna Orymowska** – Akademia Morska w Szczecinie

mgr inż. **Karolina Pilip** – Akademia Morska w Szczecinie