

WYBRANE ZAGADNIENIA ZARZĄDZANIA RYZYKIEM W PRZEMYŚLE OFFSHORE

Praca zbiorowa
pod redakcją
Agnieszki Blokus-Dziula



Zarządzanie ryzykiem
w morskim przemyśle wydobywczym
i energetyce wiatrowej

WYBRANE ZAGADNIENIA ZARZĄDZANIA RYZYKIEM W PRZEMYŚLE OFFSHORE

**Praca zbiorowa
pod redakcją Agnieszki Blokus-Dziula**

Gdynia 2025

REDAKTOR NAUKOWY: dr hab. Agnieszka BLOKUS-DZIULA, prof. UMG

RECENZENCI NAUKOWI:

dr hab. Agnieszka BLOKUS-DZIULA, prof. UMG, Wydział Nawigacyjny,
Uniwersytet Morski w Gdyni

dr Tomasz HARACKIEWICZ, Centrum Morskiej Energetyki Wiatrowej,
Uniwersytet Morski w Gdyni

dr hab. Ewelina KOCHANEK, prof. US, Instytut Nauk o Polityce i Bezpieczeństwie,
Uniwersytet Szczeciński

kmdr dr hab. inż. Rafał MIĘTKIEWICZ, prof. AMW, Wydział Nawigacji i Uzbrojenia
Okrętowego, Akademia Marynarki Wojennej im. Bohaterów
Westerplatte

dr inż. Alicja MROZOWSKA, Wydział Dowodzenia i Operacji Morskich,
Akademia Marynarki Wojennej im. Bohaterów Westerplatte

prof. dr hab. Tadeusz PALMOWSKI, Wydział Nauk Społecznych,
Uniwersytet Gdański

dr Michał PIEKARSKI, Instytut Studiów Międzynarodowych i Bezpieczeństwa,
Uniwersytet Wrocławski

prof. dr hab. Katarzyna PIWOWAR-SULEJ, Wydział Zarządzania,
Uniwersytet Ekonomiczny we Wrocławiu

dr Joanna PRÓCHNIAK, Wydział Zarządzania, Uniwersytet Gdański

dr hab. Diana TRZCIŃSKA, prof. UG, Wydział Prawa i Administracji, Uniwersytet Gdański

RECENZENCI BRANŻOWI:

Sławomir BAŁDYGA, Offshore Pro Solutions

Dawid DOBRZAŃSKI, Global Maritime

Magdalena JABŁONOWSKA, ORLEN Petrobaltic S.A.

Piotr SAŁEK, PGE Baltica Sp. z o.o.

Rafał ŻENDARSKI, ORLEN Neptun sp. z o.o.

REDAKCJA I KOREKTA: Ewa GIEDZIUN

PROJEKT OKŁADKI: Krzysztof BECKER

WYDAWNICTWO UNIwersYTETU MORSKIEGO W GDYNI

WYDAWCA:



UNIwersYTET MORSKI W GDYNI

ul. Morska 81-87

81-225 Gdynia

www.umg.edu.pl

ISBN 978-83-67428-58-3

e-ISBN 978-83-67428-59-0

Wszelkie prawa autorskie i wydawnicze zastrzeżone

SPIIS TREŚCI

WPROWADZENIE	5
<i>Agnieszka Blokus-Dziula</i>	
Rozdział 1	
WYBRANE ASPEKTY ZARZĄDZANIA RYZYKIEM W MORSKIEJ ENERGETYCE WIATROWEJ – ANALIZA DOTYCHCZASOWYCH DOŚWIADCZEŃ I MOŻLIWOŚCI IMPLEMENTACJI.....	9
<i>Łukasz Sikorski</i>	
Rozdział 2	
MIĘDZYNARODOWE ORGANIZACJE ODPOWIEDZIALNE ZA BEZPIECZEŃSTWO W ŻEGLUDZE MORSKIEJ ORAZ SEKTORZE WYDOBYWCZYM I MORSKIEJ ENERGETYCE WIATROWEJ	25
<i>Robert Grzegorowski</i>	
Rozdział 3	
BEZPIECZEŃSTWO I PŁYNNOŚĆ ŻEGLUGI STATKÓW W KONTEKŚCIE BUDOWY MORSKICH FARM WIATROWYCH W POLSKICH OBSZARACH MORSKICH	66
<i>Marta Kafarska</i>	
Rozdział 4	
INFRASTRUKTURA KRYTYCZNA W ENERGETYCE – ZARZĄDZANIE RYZYKIEM W ZAKRESIE OCHRONY INFRASTRUKTURY KRYTYCZNEJ W ENERGETYCE W ŚWIELE WŁĄCZENIA DO NIEJ MORSKICH FARM WIATROWYCH (MFW)	92
<i>Artur Kończal, Konrad Wróbel</i>	
Rozdział 5	
MORSKIE FARMY WIATROWE A EKOSYSTEMY MORSKIE – DWUKIERUNKOWE ODDZIAŁYWANIA W CYKLU ŻYCIA	118
<i>Magdalena Bogalecka</i>	

Rozdział 6

IŁOŚCIOWA ANALIZA RYZYKA W PROJEKTACH MORSKIEJ ENERGETYKI WIATROWEJ.....	144
---	------------

Jakub Zagraba

Rozdział 7

MINIMALIZOWANIE RYZYKA WYSTĄPIENIA SKUTKÓW ZJAWISKA PRZEPADNIĘCIA (PUNCH-THROUGH) PODCZAS POSADAWIANIA PLATFORMY WIERTNICZEJ TYPU JACK-UP	170
--	------------

Andrzej Starosta

Rozdział 8

KAMPANIE GEOTECHNICZNE JAKO JEDEN Z ELEMENTÓW FAZY ROZWOJU MORSKIEJ ELEKTROWNI WIATROWEJ	193
---	------------

Patryk Juskiewicz

WPROWADZENIE

Przygotowując w 2024 roku pracę zbiorową pt. *Zarządzanie ryzykiem w przemyśle offshore*, przyświecała nam idea rozszerzenia współpracy pomiędzy środowiskiem naukowym i branżowym na kolejne wspólne działania, przybliżające zagadnienia z zakresu zarządzania ryzykiem w przemyśle *offshore* szerszemu gronu odbiorców. Niniejsza propozycja *Wybrane zagadnienia zarządzania ryzykiem w przemyśle offshore* stanowi pewnego rodzaju kontynuację tamtych działań. Obie pozycje powstały w ramach studiów podyplomowych *Zarządzanie ryzykiem w morskim przemyśle wydobywczym i energetyce wiatrowej*, realizowanych na Wydziale Nawigacyjnym Uniwersytetu Morskiego w Gdyni i poświęcone są tej tematyce. Kolejne rozdziały monografii traktują o innych zagadnieniach dotyczących morskiej energetyki wiatrowej i przemysłu wydobywczego, bądź z innej perspektywy, stanowiąc pewnego rodzaju kontynuację wspomnianej wyżej publikacji *Zarządzanie ryzykiem w przemyśle offshore*. Prezentowane treści, podobnie jak poprzednio, zostały przygotowane przez wykładowców, absolwentów i uczestników naszych studiów.

W każdej pracy, w każdej dziedzinie, kluczowa jest wymiana informacji i doświadczeń oraz umiejętne korzystanie z wiedzy i kompetencji innych. Przyspiesza to proces nauki, zdobywania wiedzy i umiejętności, co z jednej strony jest oczywiste, ale czasem wydaje się, że o tych najbardziej oczywistych i najprostszych rozwiązaniach zapominamy. Píše o tym i wspomina w ramach prowadzonych zajęć Łukasz Sikorski. W rozdziale 1 przedstawia wybrane zagadnienia zarządzania ryzykiem w branży morskiej energetyki wiatrowej, a także możliwości wykorzystania doświadczeń, zebranych na innych rynkach bądź przy innych projektach, podczas realizacji przedsięwzięć morskiej energetyki wiatrowej w Polsce. Jednak informacje i dotychczasowe doświadczenia należy wykorzystać w odpowiedni sposób. Jak sam pisze, „stara się odpowiedzieć na pytanie, czy informacje z innych rynków są adekwatne do wyzwań, i uwarunkowań, przed jakimi staje, oraz warunków, w jakich się rozwija się polska branża morskiej energetyki wiatrowej”. Sikorski analizuje, jak wykorzystać i wdrażać dotychczasowe

doświadczenia, odpowiednio dostosowując je do sytuacji i uwarunkowań naszej branży.

Tworząc program i organizując studia podyplomowe *Zarządzanie ryzykiem w morskim przemyśle wydobywczym i energetyce wiatrowej*, zależało nam właśnie na wykorzystaniu wiedzy i doświadczenia osób, które bardzo dobrze poznały branżę *offshore*, pracując w niej przez wiele lat. Pomimo ogromnego doświadczenia, a może właśnie dlatego, wiedzą one, że nie wszystko można przewidzieć i zaplanować, a niepewność jest nieodłącznym elementem zarządzania ryzykiem. Jednak właściwe zarządzanie ryzykiem może pomóc przewidzieć to, co możliwe do przewidzenia, ograniczyć czy wyeliminować zagrożenia, które da się usunąć, ograniczyć skutki zagrożeń, których nie da się uniknąć, ale też właściwie zareagować na zdarzenia, które były mało prawdopodobne i trudne do przewidzenia. W zarządzaniu ryzykiem istotna jest także umiejętność wykorzystania pojawiających się szans. Nie chcąc zmarnować szansy wykorzystania wiedzy i doświadczenia wielu wspaniałych ekspertów branży *offshore*, poznanych w ramach realizowanych studiów podyplomowych, podjęłam wyzwanie przygotowania tych monografii z zakresu tematyki zarządzania ryzykiem w przemyśle *offshore*.

Robert Grzegorowski opisuje międzynarodowe organizacje, konwencje i inicjatywy odpowiedzialne za bezpieczeństwo w żegludze morskiej oraz sektorze wydobywczym i morskiej energetyce wiatrowej. Przybliża międzynarodowe i lokalne procedury oraz konwencje bezpieczeństwa morskiego znajdujące zastosowanie w obu sektorach. Przedstawiając we wstępie historię powstania międzynarodowych instytucji porządkujących bezpieczeństwo żeglugi na morzu, wskazuje, że konieczność ich powstania wynikała z tragicznych doświadczeń. Podkreśla też problem skutecznego oraz kompleksowego zarządzania bezpieczeństwem żeglugi morskiej, przy jednoczesnym wykorzystaniu pełnego potencjału morskiej gospodarki.

Hasło „bezpieczeństwo” stało się pewnego rodzaju tematem przewodnim tej monografii. Marta Kafarska porusza problemy i zagrożenia dla bezpieczeństwa żeglugi w polskich obszarach morskich w kontekście rozwoju morskiej energetyki wiatrowej. Wymienia środki i działania, mające minimalizować negatywny wpływ infrastruktury morskich farm wiatrowych na bezpieczeństwo żeglugi. Analizuje, jakie czynniki mogą mieć wpływ na realizację procesu rozwoju morskiej energetyki wiatrowej w sposób jak najmniej zagrażający bezpieczeństwu żeglugi w polskich obszarach Morza Bałtyckiego.

Kwestie bezpieczeństwa morskiej infrastruktury krytycznej, na którą składają się infrastruktura portowa, szeroko pojmowana infrastruktura offshorowa (platformy

wydobywcze, morskie farmy wiatrowe) jak i infrastruktura podwodna (rurociągi, gazociągi, kable energetyczne czy też kable zapewniające łączność międzynarodową), poruszają Artur Kończal i Konrad Wróbel. W podsumowaniu podkreślają, że morska energetyka wiatrowa stanie się częścią strategicznej infrastruktury energetycznej państwa, mającej wpływ na cały system elektroenergetyczny Polski, a tym samym na bezpieczeństwo nas wszystkich, użytkowników i odbiorców energii.

Magdalena Bogalecka opisuje morskie farmy wiatrowe (MFW) w aspekcie interakcji między infrastrukturą a środowiskiem. Jak sugeruje sam tytuł rozdziału, podkreślający „dwukierunkowe oddziaływanie”, analizie i ocenie podlega zarówno wpływ infrastruktury MFW na ekosystemy morskie, jak i oddziaływanie środowiska na MFW, zmuszające często do dostosowania projektu do warunków środowiskowych, ale także mające wpływ na wydajność, niezawodność i koszty eksploatacji MFW. Bogalecka w poszczególnych podrozdziałach przeprowadza tę analizę przez wszystkie etapy życia MFW. Jak podsumowuje, „kluczowym wyzwaniem stojącym przed morską energetyką wiatrową jest optymalne zarządzanie tymi interakcjami”.

Na uwagę zasługują rozdziały przygotowane przez uczestników bieżącej, trzeciej edycji studiów podyplomowych. Jakub Zagraba przedstawia przykładową ilościową analizę ryzyka projektu morskiej energetyki wiatrowej, opierając się na metodzie statystycznej Monte Carlo. Prezentując zastosowanie metody ilościowej w zarządzaniu ryzykiem, autor wskazuje, że uzyskane wyniki stanowią istotny wkład do modeli analitycznych w projekcie i mogą wspomóc proces decyzyjny.

Andrzej Starosta analizuje zagrożenia, które mogą się pojawić podczas procesu instalacji platformy w nowej lokalizacji. Omawiając zasady bezpiecznego przeprowadzania operacji posadowienia platformy wiertniczej typu *jack-up*, wskazuje kwestie bardzo dokładnych badań geotechnicznych i obliczeń, dotyczących wytrzymałości gruntu oraz dostępu do tych informacji jako czynników zmniejszających ryzyko wystąpienia zjawiska przepadnięcia.

Kwestie badań geotechnicznych porusza także Patryk Juskiewicz w rozdziale, dotyczącym prowadzenia kampanii geotechnicznych i badań wykonywanych na obszarach morskich na potrzeby inwestycji morskich elektrowni wiatrowych oraz w przemyśle wydobywczym. Autor przedstawia najczęściej wykorzystywane badania geotechniczne i jednostki pływające oraz analizuje najważniejsze ryzyka związane z kampaniami geotechnicznymi, przede wszystkim na etapie operacyjnym, wraz ze sposobami ich mitygacji.

Reasumując, wierzę, że informacje zawarte w tej publikacji, jak i uwagi oraz spostrzeżenia autorów, będą dla Państwa cenne, a, być może, ułatwią tak trudny

proces efektywnego i bezpiecznego zarządzania ryzykiem w przemyśle *offshore*. Chcąc podzielić się wiedzą i doświadczeniem wykładowców, absolwentów i uczestników naszych studiów podyplomowych z osobami zainteresowanymi branżą *offshore*, proponujemy lekturę niniejszej monografii.



Agnieszka Blokus-Dziula – od ponad 20 lat pracuje na Wydziale Nawigacyjnym Uniwersytetu Morskiego w Gdyni. W latach 2022–2024 pełniła funkcję kierownika Katedry Matematyki, a od 2024 roku – kierownika Zakładu Modelowania i Metod Matematycznych w Transporcie. W 2007 roku uzyskała stopień doktora nauk technicznych w dyscyplinie *Automatyka i robotyka*, a w 2021 roku – stopień doktora habilitowanego nauk inżynieryjno-technicznych w dyscyplinie *Informatyka techniczna i telekomunikacja* w Instytucie Badań Systemowych Polskiej Akademii Nauk.

W pracy naukowej zajmuje się głównie analizą niezawodności systemów wielo-
stanowych z elementami o uszkodzeniach zależnych. Główne wyniki prac zostały
opublikowane w monografii naukowej *Multistate system reliability with
dependencies*, wydanej w 2020 roku w wydawnictwie o zasięgu międzynarodowym
Academic Press (Elsevier).

Brała udział w opracowaniu programu i uruchomieniu studiów podyplomowych
Zarządzanie ryzykiem w morskim przemyśle wydobywczym i energetyce wiatrowej,
jednocześnie pełniąc funkcję kierownika tych studiów.

Łukasz SIKORSKI

Rozdział 1

WYBRANE ASPEKTY ZARZĄDZANIA RYZYKIEM W MORSKIEJ ENERGETYCE WIATROWEJ – ANALIZA DOTYCHCZASOWYCH DOŚWIADCZEŃ I MOŻLIWOŚCI IMPLEMENTACJI

WSTĘP

Celem tegoż rozdziału jest przeglądowe przedstawienie wybranych zagadnień zarządzania ryzykiem w branży morskiej energetyki wiatrowej, a także syntetyczne przeszczepienie ich na grunt wyzwań, z jakimi będą się mierzyły projekty morskiej energetyki wiatrowej w naszym kraju tak, aby mogły one, w możliwie dużym stopniu, korzystać z doświadczeń zebranych na innych rynkach, albo przy projektach o podobnym charakterze.

Realizując wykłady wprowadzające do tematyki zarządzania ryzykiem w projektach *offshore*, autor często kończy je sugestią, żeby w pierwszej kolejności wykorzystać doświadczenie szeroko rozumianej branży. Ilustruje to zdjęcie z wnętrza turbiny, gdzie za jej otwartymi na oścież drzwiami widoczne jest spokojne morze i stojące na nim morskie wiatraki. Zwykle odsyła się wtedy słuchaczy do różnego rodzaju opracowań, analiz, wytycznych czy też wprost doświadczeń wcześniejszych projektów, sugerując, że można tam znaleźć wiele cennych informacji i nawet nowych projektów, realizowanych na nowych rynkach nie trzeba zaczynać od zera. Ta praca ma za zadanie pójść krok dalej i skonkretyzować nieco te ogólne rekomendacje.

Podjęto próbę wykorzystania wcześniejszych projektów i doświadczeń, związanych z zarządzaniem ryzykiem oraz skonkretyzowania tych informacji przy nowych projektach morskich farm wiatrowych. Skupiono się jednocześnie na najpowszechniejszych i najpoważniejszych ryzykach, takich jak kwestie związane z ryzykami gruntowymi czy uszkodzeniami kabli.

Rozdział stanowi syntetyczny przegląd praktyk zarządzania ryzykiem, prezentowanych w różnych miejscach. Autor stara się odpowiedzieć na pytanie, czy informacje z innych rynków są adekwatne do wyzwań i uwarunkowań, przed jakimi staje, oraz warunków, w jakich rozwija się polska branża morskiej energetyki wiatrowej. Stawia tezę, że wcześniejsze doświadczenia z bardziej rozwiniętych rynków są bardzo cenne, ale mogą być one wprowadzone dopiero, gdy odpowiednio dostosuje się je do sytuacji i uwarunkowań omawianej branży.

Przegląd osadzono więc w kontekście specyfiki polskiego rynku i projektów tu realizowanych, podając przykłady zastosowań, ale także wskazując, jakie szczególne uwarunkowania należy uwzględnić oraz jakie doświadczenia płyną z globalnej branży *offshore*. W rozdziale zaprezentowano kilka wybranych aspektów morskiej energetyki wiatrowej i przykłady specyficznych ryzyk z nimi związanych.

1. METODYKA ZARZĄDZANIA RYZYKIEM

Wiadomo, że właściwe zarządzanie ryzykiem jest jednym z kluczowych elementów sukcesu projektu. Każda organizacja powinna zapewnić proces zarządzania ryzykiem zgodny z dobrymi praktykami. Inspiracją w tym zakresie mogą być wytyczne i metodyki zarządzania projektami, takie jak PMBOK [1] czy PRINCE2 [12]. Źródła te uwzględniają kwestie zarządzania ryzykiem jako immanentne elementy całościowego zarządzania projektem, a dodatkowo, organizacje odpowiedzialne za wspomniane opracowania uzupełniają je o materiały poświęcone wyłącznie ryzykom [20].

Warto tu także powołać się na ISO 31000 [10]. Jest to rodzina norm, których celem jest dostarczenie uniwersalnych i ogólnych zasad zarządzania ryzykiem, pozwalających na ich wdrożenie w konkretnej organizacji. Może to być dobre źródło informacji w przypadku budowy systemu od zera, albo dostosowywania istniejących rozwiązań do ogólnie przyjętych standardów. Dodatkową jego wartością, w odróżnieniu od wspomnianych metodyk i wytycznych, jest fakt, że standard działa na dwóch poziomach: po pierwsze, pozwala opracować proces zarządzania ryzykiem (systematyczne stosowanie zasad, procedur i praktyk zarządzania w działaniach związanych z komunikacją, konsultacjami, ustalaniem kontekstu oraz identyfikacją, analizą, oceną, działaniami zaradczymi, monitorowaniem i przeglądami ryzyka), po drugie, umożliwia także wdrażanie ram zarządzania ryzykiem (zestaw elementów zapewniających podstawy i ustalenia organizacyjne, służące

projektowaniu, wdrażaniu, mentoringowi, przeglądaniu i ciągłemu doskonaleniu zarządzania ryzykiem w całej organizacji).

Należy tutaj zaznaczyć, że norma odchodzi od popularnego postrzegania ryzyka jako prawdopodobieństwa wystąpienia niekorzystnego zdarzenia, ale bazuje na definicji ryzyka jako pozytywnych lub negatywnych rezultatów niepewności, a więc adresuje zarówno zagrożenia, jak i szanse (inne metodyki były niekiedy krytykowane ze brak takiego podejścia). Niezależnie od tego, podejście do procesu zarządzania ryzykiem według ISO uwzględnia typowe kroki, takie jak szacowanie ryzyka, uwzględniając jego identyfikację, analizę i ocenę, a także sposoby radzenia sobie z ryzykiem (*treating*) wraz z następczym monitoringiem i przeglądami ryzyka. W rekomendowanym procesie pojawią się też specyficzne dla normy wymagania, dotyczące komunikacji i konsultacji, wraz z ustaleniem kontekstu procesu zarządzania ryzykiem.

Mimo wskazanych różnic, bez względu na to, jakie podejście bazowe zostanie wybrane przy projektowaniu systemu, zasadniczo uzyska się zbliżone rezultaty, gdyż inne metodyki i wytyczne opierają się na podobnych fundamentach i procesach.

Zgodnie z teorią PMBOK, zarządzanie ryzykiem uwzględnia sześć głównych procesów: planowanie zarządzania, identyfikację ryzyk, jakościową i ilościową analizę ryzyka, planowanie odpowiedzi na ryzyko oraz jego monitorowanie i kontrolę. Proces zarządzania ryzykiem według PRINCE2 wskazuje takie kluczowe działania jak identyfikacja ryzyk oraz ich ocena, opracowanie wariantów odpowiedzi możliwych do rozważenia i decydowanie o odpowiedzi na ryzyko wraz z planowaniem, zakończonym wdrożeniem i komunikowaniem. Jak widać, nie ma tutaj krytycznych różnic, można jednak dostrzec pewne przesunięcia akcentów w postaci podkreślenia roli niektórych działań albo rozbudowania procesu o niewystępujące gdzie indziej elementy, ale możliwe drogi radzenia sobie z identyfikacją i oceną ryzyk będą zasadniczo jednakowe.

Przywołana norma daje też ogólne, choć praktycznie użyteczne wskazówki, jak można sobie radzić z ryzykami. Podstawowa możliwość obejmuje unikanie ryzyka poprzez podjęcie decyzji o nierozpoczynaniu lub niekontynuowaniu działalności, która z nim się wiąże. Można także próbować usunąć źródło ryzyka. Możliwe jest też utrzymanie poziomu ryzyka jako wyniku świadomej decyzji. Najpowszechniej stosowana jest zmiana prawdopodobieństwa wystąpienia jakiegoś zdarzenia albo zmiana możliwych konsekwencji wynikających z jego zaistnienia. Wszystkie te podejścia odpowiadają typowym strategiom reakcji na ryzyko (kolejno unikanie, akceptacja, mitygacja i przeniesienie), co może mieć zastosowanie w większości

sytuacji. Nie zawsze jednak możliwa jest zmiana prawdopodobieństwa wystąpienia jakiegoś zagrożenia ani uniknięcia potencjalnych konsekwencji. Wtedy często pozostaje np. przeniesienie czy akceptacja ryzyka, godzące się z konsekwencjami materializacji ryzyka i wystąpieniem szkód, a następnie poradzenia sobie z tymi następstwami.

2. USZKODZENIA KABLI W PROJEKTACH MFW ORAZ ZAPOBIEGANIE IM

2.1. Statystyki szkód

Panuje powszechna opinia, że szkody związane z kablami są najczęstszymi zdarzeniami na morskich farmach wiatrowych. Znajduje to potwierdzenie w danych statystycznych, przedstawianych przez ubezpieczycieli zarówno kiedyś, jak i teraz. Raport z 2015 roku [5] zawiera informację, że awarie kabli stanowią globalnie 77% całkowitych kosztów strat ponoszonych przez morskie farmy wiatrowe. Analizowany okres obejmował lata 2010–2015, a sumaryczne straty szacowane dla całego rynku wynosiły około 150 milionów euro.

Podobne opracowanie, opublikowane w 2021 roku, wskazuje, że ubezpieczyciele szacują, iż uszkodzone kable podmorskie, według ubezpieczycieli, stanowią od 70 do 80% ich roszczeń, a suma odszkodowań sięgnęła niemal 600 milionów euro w 2020 roku [22]. Inne źródła podają szacunki niekiedy nawet przewyższające wspomniane wartości, choć należy zaznaczyć, że poszczególni ubezpieczyciele raportują różne poziomy udziału szkód związanych z uszkodzeniem lub awarią kabla [11]. Zazwyczaj stanowią one i tak ponad 50% obsługiwanych przez nich roszczeń, w ujęciu wartościowym [3].

Najnowsza analiza, zaprezentowana w 2024 roku, zawiera opartą na aktualnych danych predykcję wskazującą na to, że w latach 2024–2035 w branży może dojść do około 3600 awarii kabli, a ich potencjalny koszt wyniesie ponad 60 miliardów euro (66,96 miliarda dolarów) [13]. Biorąc to pod uwagę, można z dużą dozą pewności wywnioskować, że ryzyka związane z kablami i ich uszkodzeniami będą bardzo istotne zarówno dla dzisiejszych, jak i przyszłych projektów morskiej energetyki wiatrowej.

Skąd biorą się takie uszkodzenia? Pomimo że każdy przypadek jest inny, można dostrzec w dostępnych informacjach wyraźne trendy, przy czym da się zaobserwować także różne profile ryzyka dla faz instalacji i eksploatacji. Ubezpieczyciele

wskazują, że dwie trzecie omawianych zdarzeń można przypisać błędom wykonawcy, głównie związanym z fazą budowy, ale i faza operacyjna nie jest pozbawiona wyzwań. Dostępne opracowania naukowe rzucają więcej światła na ten temat, dlatego warto się z nimi zapoznać i poszukać odniesień do sytuacji własnego projektu [19].

Analiza trendów wskazuje, że znaczna część udokumentowanych awarii kabli była spowodowana nieprawidłową instalacją (niemal 50%) lub nieprawidłowościami w trakcie produkcji (nieco ponad 30%). Dla porównania, przyczyną 15% awarii było niewłaściwe zaprojektowanie kabla. Jedynie 8% spowodowane było uszkodzeniami zewnętrznymi, którym w dyskusjach około branżowych przypisuje się znacznie większą wagę. Zdarza się, że błędy instalacyjne mogą powodować powstawanie zatajonych usterek, które pozostają niewykryte w momencie zdarzenia, a dopiero potem powodują problemy podczas pracy, podobne do skutków wad produkcyjnych. Tylko około połowa zdarzeń na etapie instalacji ujawnia się od razu, rezultaty pozostałej części pojawiają się dopiero w fazie operacyjnej.

2.2. Przyczyny uszkodzeń

Wady produkcyjne mogą przyjmować różne formy. Zwykle są skutkiem zakłóceń przy wytwarzaniu kabli, które prowadzą do powstawania pustych przestrzeni w izolacji, tworząc w niej obszary niewystarczającej grubości albo wręcz pozostawiając obszary odsłoniętego kabla. Prowadzi to do wyładowań niezupełnych i awarii kabla. Spora część takich wad może być zidentyfikowana w ramach procesów kontroli jakości, ale część ujawni się dopiero podczas pracy pod obciążeniem i ekspozycji na warunki morskie.

Osobna kategoria przyczyn związana jest z niewłaściwym przechowywaniem albo nawijaniem kabli na bębny, dlatego tak ważne są inspekcje w zakładach produkcyjnych, nawet tych należących do renomowanych producentów.

Wspomniana analiza wskazuje, że główną przyczyną uszkodzeń na etapie budowy jest z jednej strony wykorzystanie urządzeń i wyposażenia niezgodnie ze specyfikacją, z drugiej zaś – niewystarczające zakopanie kabla. To pierwsze można próbować wyeliminować poprzez zatrudnianie kompetentnych wykonawców, dysponujących sprzętem adekwatnym do warunków w danej lokalizacji i dostosowanym do typów wykorzystywanych kabli. Drugi problem można spróbować rozwiązać, przeprowadzając stosowną analizę zagłębiania kabla już na etapie projektowania, co opisano później.

Osobną kategorię tworzą uszkodzenia, wynikające z fizycznych punktów styku pomiędzy elementami systemu, np. występowania nieuwzględnionych w projekcie naprężeń komponentów, chociażby wskutek niewłaściwego wykonania połączeń pomiędzy kablami a fundamentem.

Wbrew obiegu opinii i dostępnym przykładom główną przyczyną zewnętrzną uszkodzeń kabli podwodnych wcale nie są statki i ich kotwice, ani rybacy i ich sieci (choć takie zdarzenia mają miejsce, a ich skutki liczone są w setkach tysięcy euro). Główne problemy wiążą się przede wszystkim z warunkami otoczenia [21]. Samo wymywanie dna przez prądy morskie (*scour*) odpowiedzialne jest za połowę odnotowanych uszkodzeń. Istotne są także interakcje występujące pomiędzy dnem morskim z ułożonym w nim lub na nim kablem a falami lub prądami morskimi. Ten aspekt zostanie później poruszony w kontekście możliwych sposobów na uniknięcie tego typu problemów.

Bardzo istotne są ponadto kwestie związane z niewłaściwym projektem, opracowaniem i wykorzystaniem nieodpowiednich specyfikacji kabli, nieuwzględniających w należyтым stopniu warunków wewnętrznych (obciążeniowych) czy zewnętrznych (środowiskowych). Może to być spowodowane błędem projektanta, ale znacznie częściej tego rodzaju problemy wynikają z braku pełnej wiedzy o lokalizacji, dla której projektuje się kable, wskutek braku pełnych danych czy niepewności, którą są obarczone. Może to także być błąd systemowy, taki jak nieadekwatne dokumenty odniesienia, np. normy czy wytyczne, które nie zawsze uwzględniają uwarunkowania, w jakich instaluje się i wykorzystuje systemy elektroenergetyczne w morskiej energetyce wiatrowej. Poza kablami także inne elementy projektu mogą być źródłem problemów. Są to m.in. mufy albo głowice kablów, które mogą stanowić słaby punkt nawet najlepiej zaprojektowanych i wykonanych systemów.

Wszystkie te problemy mogą się ujawnić dopiero w fazie operacyjnej, gdzie występujące awarie stanowią mogą wypadkową wielu drobnych przyczyn i niekorzystnego splotu wcześniejszych zdarzeń, które z osobna wcale nie musiałyby skutkować uszkodzeniem. Błędy w projekcie kabla, wraz z nadmiernymi prądami osłonowymi, mogą powodować powstawanie tzw. gorących punktów, które stają się załącznikiem fizycznego uszkodzenia kabla, np. wskutek stopienia izolacji i zainicjowania wyładowania łukowego. Charakter przyczyn tych zdarzeń daje jednocześnie pewne szanse ich wcześniejszym detekcjom. Teoretycznie istnieje możliwość monitorowania kabli w zakresie poszukiwania załączków awarii (*hot spots*). Jednak w praktyce nie jest to proste, gdyż kable mogą być ułożone nawet kilka metrów pod dnem morskim, znajdującym się niekiedy na znacznych głębokościach.

2.3. Zapobieganie uszkodzeniom kabli

Szukając inspiracji w zakresie zapobiegania uszkodzeniom kabli, warto przyjrzeć się temu, co do tej pory wypracowała branża. Często działania w zakresie zapobiegania uszkodzeniom kabli są bardzo praktyczne, możliwe do zastosowania w każdym projekcie morskiej energetyki wiatrowej. W niniejszym artykule opisano niektóre z nich.

Interesującym przykładem jest opracowanie jednej z firm doradczych, gdzie nie tylko opisano główne przyczyny awarii kabli, ale zawarto informacje o możliwościach ich ochrony z użyciem tzw. systemów ochronnych kabli (*cable protection systems*) [6]. Zaproponowane rozwiązania mogą być stosowane do ochrony odsłoniętego odcinka kabla między punktem styku z fundamentem, czyli wejściem do turbiny a punktem zakopania, czyli początkiem odcinka kabla biegnącego w dnie morskim. System ten powinien chronić kabel przed różnymi czynnikami, które negatywnie wpływają na jego żywotność. Odsłonięty odcinek jest w rzeczywistości poddawany zwiększonym siłom dynamicznym, których zasadniczo statyczny kabel niekoniecznie jest w stanie wytrzymać przez cały projektowany okres eksploatacji.

Wskazano tu przykłady różnych rozwiązań, takich jak systemy ochrony obszarów dynamicznych i statycznych, a także ograniczników zginania i elementów usztywniających, czy sposoby radzenia sobie z nadmiernym wymywaniem przez prądy morskie. Analizowane rozwiązania dotyczą nie tylko części systemu kablowego, zlokalizowanych w pobliżu turbiny albo stacji transformatorowej. Odnoszą się także do zagadnień związanych z głębokością zagłębienia kabla i powiązaną z tym analizą ryzyka na całej jego trasie.

Kable podmorskie bardzo często zagłębia się w dnie morskim, co z jednej strony pozwala je chronić, a z drugiej zapewnia im bardzo dobre warunki pracy. Optymalne parametry ułożenia kabli można wyznaczyć z użyciem analizy ryzyka zagłębienia kabli (*cable burial risk assessment*), powiązanej z oceną ryzyka. Doskonałą pomocą w tym zakresie jest opracowana w formule *open-source* metodologia, używająca rozwiązań probabilistycznych [4]. Uzupełnieniem jej są materiały wypracowane przy współudziale deweloperów, dotyczące ich praktycznego stosowania [2]. Opracowanie przeznaczone pierwotnie na rynek brytyjski, stanowi, zdaniem autora, rodzaj ogólnie akceptowalnych wytycznych branżowych, mogących mieć zastosowanie także na rynku polskim.

Tak wypracowana metodologia pozwala na wyznaczenie optymalnej głębokości, określonej z uwzględnieniem wartości ryzyka, na jakie narażony jest kabel w zależności od rodzaju gruntu czy warunków otoczenia, takich jak np.

natężenie ruchu statków. Dokument bardzo konkretnie odnosi się także do innych kwestii, takich jak określone wielkości współczynników bezpieczeństwa czy głębokości penetracji dna morskiego, określone w zależności od używanego przez rybaków sprzętu. Informacje zawarte w dokumencie pozwalają również na określenie wielkości kotwic statków, które potencjalnie mogłyby zerwać kabel położony na danej głębokości.

2.4. Ryzyko jako potencjalne szanse

Warto ponadto zauważyć, że współczesne metodologie zarządzania ryzykiem zwykle obejmują tym terminem zarówno zagrożenia, o których była już mowa, jak i szanse.

Wskazane wytyczne, dotyczące układania kabli, mają, w pierwszej kolejności, służyć ich właściwemu zabezpieczeniu przed uszkodzeniami. Mogą jednak zostać także użyte do działań, prowadzących do uzyskania możliwych korzyści technicznych i finansowych. Optymalizacja głębokości zagłębiania może potencjalnie poprawić ekonomikę instalacji, która dzięki temu będzie tańsza i szybciej wykonana. Jednocześnie ryzyko powstawania różnego rodzaju uszkodzeń kabli¹, przy odpowiednim zarządzaniu, może przełożyć się na niższe koszty, np. poprzez zmniejszenie wielkości koniecznych funduszy rezerwowych. Główną przesłanką jest tutaj użycie specyficznych i wyznaczonych zgodnie ze stosownymi praktykami głębokości zagłębiania, co stanowi odstępienie od standardowego podejścia opartego na sztywnych zasadach i współczynnikach. Powinno to prowadzić do zmniejszenia wymaganych głębokości zagłębiania w wielu obszarach, gdzie występują korzystne ku temu warunki.

Takie podejście, wykorzystujące szanse i optymalizację głębokości zagłębiania, może pozwolić także na redukcję kosztów i czasu realizacji całego projektu. Dodatkową możliwość optymalizacji kosztów stanowi również odpowiedni dobór statków i sprzętu instalacyjnego oraz wybór najbardziej wydajnych rozwiązań w konkretnych, określonych warunkach. Nie bez znaczenia jest ułożenie kabli pod dnem na optymalnej głębokości, co ogranicza ryzyko ich uszkodzenia podczas

¹ Mowa tutaj o uszkodzeniach mechanicznych, wskutek interakcji z innymi użytkownikami morza czy warunkami środowiskowymi, ale także tych o charakterze elektrycznym, dzięki zapewnieniu odpowiednich warunków pracy kabli pod obciążeniem, np. do odprowadzenia ciepła.

przewodzenia tych prac, a także zapewnia łatwiejszy dostęp do kabli w przypadku konieczności ich naprawy.

Podsumowując, warto na omawiane kwestie spojrzeć z wielu perspektyw, a bez wątplenia konieczne jest holistyczne ujęcie projektu i uświadomienie sobie występujących w nim powiązań.

3. ZARZĄDZANIE RYZYKAMI GRUNTOWYMI W PROJEKTACH MEW

3.1. Warunki gruntowe i ich wpływ na realizację projektów MEW

Warunki gruntowe obejmują w pewnym uproszczeniu strukturę i kompozycję dna morskiego, czyli rodzaj skał i osadów, z których dno się składa, ale także ich wzajemne ułożenie. Złożenie tych elementów tworzy, niekiedy bardzo skomplikowaną, trójwymiarową strukturę, która pozostaje nieznana, dopóki nie zostanie właściwie zbadana.

Rodzaj dna jest niezwykle istotny, ponieważ ma ono kluczowe i wielowymiarowe znaczenie w projektach morskiej energetyki wiatrowej. Oczywisty jest wpływ na posadowienia turbin, rodzaj czy parametry koniecznych do zastosowania fundamentów, co bezpośrednio wiąże się z nakładami inwestycyjnymi konkretnego projektu. Podstawowym warunkiem jest tu występowanie odpowiednio nośnych gruntów, pozwalających na właściwe przenoszenie obciążeń i zapewniających stabilność (w przypadku fundamentów grawitacyjnych). Skały nośne na określonej głębokości dna powinny wytrzymać usadowienie w nich odpowiednich konstrukcji (np. dla fundamentów wykorzystujących pale typu monopale).

Poza projektowaniem fundamentów warunki geologiczne wpływają także na proces ich instalacji. W przypadku twardych gruntów wymuszają stosowanie odpowiednio wytrzymałych narzędzi, a przy niekorzystnej budowie dna stwarzają niebezpieczeństwo niewłaściwej instalacji, a nawet utraty monopali. Uwarunkowania gruntowe mogą także wpływać na prowadzenie prac na morzu podczas instalacji lub eksploatacji farm wiatrowych, np. przy operowaniu jednostkami typu *jack-up*, które rozstawiają swoje nogi nośne na dnie morskim, częściowo się w nie zagłębiając.

Warto także wskazać wpływ rodzaju dna morskiego na rozkład turbin czy trasy kablowe. Niektóre uwarunkowania mogą uniemożliwiać lokalizację fundamentów w określonych miejscach albo wymuszać modyfikację tras kablowych. Szereg zagrożeń związanych z warunkami gruntowymi (geozagrożeń) powoduje również

różnorakie ryzyka, czasem bardzo specyficzne dla danego akwenu czy nawet projektu.

Uwarunkowania te są także źródłem niepewności, które badacze starają się zmniejszać poprzez różnorodne badania geofizyczne i geotechniczne. Jednak nawet dobrze rozpoznana lokalizacja wciąż jest obciążona ryzykiem, związanym chociażby z ograniczeniami dostępnych metod badawczych, brakiem pełnej reprezentatywności wybranych miejsc badań, czy zróżnicowaniem pionowym i poziomym, które nie zawsze można poprawnie zidentyfikować i zinterpretować. Nawet najdoskonalsze trójwymiarowe modele gruntów w dużej mierze wciąż wykorzystują wyniki ekstrapolacji i interpolacji, opierając się na pozyskanych w terenie danych. Współcześnie, ze względu na ograniczenia ekonomiczne i techniczne, nie jesteśmy jeszcze w stanie przebadać każdego punktu dna. Specyficzne uwarunkowania geologiczne dna morskiego były i w dalszym ciągu będą istotnym wyzwaniem dla sektora *offshore*.

3.2. Geozagrożenia i analiza ryzyka z nimi związanego

Ciekawy wgląd w zagadnienia zagrożeń gruntowych na obszarach przeznaczonych pod morską energetykę w Polsce można uzyskać z opracowania doradcy branżowego, zaangażowanego w badanie akwenów przeznaczonych w planie zagospodarowania obszarów morskich pod morską energetykę wiatrową [16]. Odniesienie tych informacji do rzeczywistych potrzeb i uwarunkowań projektowych dostarcza wielu użytecznych informacji.

Ryzyko związane z warunkami gruntowymi stanowi jedno z najważniejszych wyzwań, przed jakimi stają projekty *offshore*. Nawet dobrze przygotowane projekty, z solidnie przeprowadzonym rozpoznaniem gruntu, mogą przynieść niespodziewane efekty, np. ze względu na kwestię reprezentatywności badań oraz nieciągłość warunków, a także problemy punktowe. Na polskim wybrzeżu stwierdzono różne typy warunków geotechnicznych, od bardzo korzystnych do bardzo niekorzystnych, przy czym występuje duże zróżnicowanie gruntów, również w obrębie tych samych akwenów.

Charakter dna południowego Bałtyku, występujące na jego powierzchni osady oraz rozpoznana budowa geologiczna wskazują, że stanowi ono strukturę nieregularną, uformowaną z głazów o zróżnicowanej średnicy, kamyków, żwirów, piasków, mułów i glin. Charakterystyczne jest lateralne zróżnicowanie warunków gruntowych, jako że gleby lodowcowe mają nieregularną i niejednorodną strukturę, wynikającą ze sposobu ich formowania. Warunki gruntowe mogą się tu znacznie

różnić nawet w obrębie jednego akwenu. Dodatkowo gładzowiska stanowią ogromne wyzwanie przy wykonywaniu fundamentów czy układaniu kabli oraz podczas prowadzenia prac na morzu z wykorzystaniem jednostek samopodnośnych *jack-up*.

Większe i mniejsze pokłady kredy posiadają właściwości skał węglanowych, takie jak cementacja, kruszące się cząstki, wysoki współczynnik porowatości *in situ* i ściśliwość. Stąd penetracje w gruntach węglanowych są wysoce nieprzewidywalne i mogą prowadzić do uszkodzeń, nieprawidłowej instalacji, czy utraty pali wskutek ich niekontrolowanego zagłębienia w gruncie.

Kolejnym problemem są złoża gazu. O ile na ogół wiadomo o występowaniu dużych skupisk węglowodorów, o tyle nawet niewielkie kieszenie gazowe mogą stanowić ogromne zagrożenie, jeśli nie dla bezpieczeństwa samych konstrukcji, to na pewno dla personelu pracującego na morzu. Do erupcji gazu pod ciśnieniem dochodziło już podczas odwiertów, prowadzonych w ramach badań geotechnicznych, a jak pokazuje doświadczenie z innych krajów, może to powodować tragiczne skutki [15].

Prowadząc analizę ryzyka, związanego z warunkami gruntowymi dna morskiego, warto mieć na uwadze wskazane zagadnienia. Łatwiej będzie zidentyfikować zagrożenia i rozwiązać pewne kwestie, korzystając z doświadczeń i wiedzy na bazie innych projektów.

3.3. Ograniczanie niepewności w zarządzaniu ryzykami gruntowymi

Niepewność związaną z warunkami gruntowymi dna morskiego można zmniejszyć poprzez przeprowadzenie właściwych i możliwe pełnych badań. Powinny one charakteryzować się odpowiednią jakością i ilością. To pierwsze oznacza zastosowanie adekwatnych metod i narzędzi, dokładność i rozdzielczość sprzętu, przestrzeganie standardów i dobrych praktyk, miarodajność zebranych danych czy właściwe opracowanie wyników. Aspekt ilościowy dotyczy wystarczającej liczby punktów badawczych, zapewniającej reprezentatywność i pokrycie kluczowych miejsc, takich jak planowana lokalizacja fundamentów.

W Polsce badania warunków gruntowych wymagają opracowania Projektu Robót Geologicznych, wynikającego z Ustawy [18]. Jest to proces realizowany indywidualnie. Stanowi ryzyko samo w sobie ze względu na możliwe opóźnienia, różnice interpretacyjne, dotyczące niezbędnego zakresu prac pomiędzy deweloperem a urzędem czy ograniczonej użyteczności wzmiankowanych regulacji w przypadku prac prowadzonych na morzu. Brakuje jasnych wytycznych,

pozwalających ustandaryzować podejście do badań dna. Takie regulacje funkcjonują już w innych krajach.

Wytyczne z 2024 roku amerykańskiego BOEM rzucają trochę światła na właściwe podejście do rozpoznania dna morskiego, określają oczekiwania, jakie rząd, poprzez biuro zajmujące się wykorzystaniem energii mórz i oceanów, stawia względem dostarczanych w ramach postępowań administracyjnych wyników kampanii badawczych na morzu [9]. Zawarte są tam rekomendacje, dotyczące samych badań, w tym przygotowania kampanii i współpracy z interesariuszami, jak również zapewnienia odpowiedniego zakresu badań i pokrycia nimi niezbędnego akwenu, a także dokładności danych pozyskiwanych do różnych potrzeb. Poza wymogami o charakterze ogólnym wytyczne wskazują bardzo precyzyjnie wymagania, dotyczące niektórych aspektów, m.in. aby badania prowadzić wzdłuż szeregu regularnie rozmieszczonych, równoległych linii, z uwzględnieniem regularnie rozmieszczonych, prostopadle biegnących linii, a także żeby siatkę pomiarową zorientować właściwie względem batymetrii, struktur geologicznych i proponowanej lokalizacji obiektów. Wytyczne podają też rekomendowane rozdzielenia siatki pozyskiwania danych, z uwzględnieniem celu badania oraz panujących w lokalizacji warunków, np. jako kwadraty o boku 0,5 albo 1 metra na potrzeby projektowania, w zależności od głębokości wody.

W dokumencie wskazano również wymogi, dotyczące używanej do badań aparatury, np. dwukanałowych sonarów, albo wręcz ich ustawień, takich jak rodzaj interwałów próbkowania czy poziom redukcji zakłóceń tła. Zawarto tam nawet informacje, jakie tabele i wykresy powinien przedstawić aplikant składający wniosek do urzędu. Takie podejście może przyczynić się do uproszczenia procesów administracyjnych, a także wesprzeć spójność i jakość badań prowadzonych na morzu przez inwestorów.

Swoje wytyczne mają też m.in. Indie [8]. Tamtejsze wymogi, poza ścisłą regulacją na temat zbierania danych dotyczących obszarów morskich, zawierają ponadto wykaz interesariuszy, z którymi badania należy uzgodnić, oraz wymogi dotyczące personelu. Poza tym podano oczekiwania dotyczące jednostek pływających, w tym wymagań technicznych i formalnych, które powinny spełnić. Kwestie praktyczne w zakresie prowadzonych kampanii badawczych poruszono na poziomie ogólnym. Wskazano jednak minimalne wymagania związane z jakością pozyskiwanych danych.

Dużo bardziej precyzyjne są wytyczne z Wielkiej Brytanii, dotyczące badań geofizycznych i geotechnicznych dla kabli przesyłowych [14], a także rozpoznania geofizycznego w kontekście niewybuchów i gładów [7]. Pierwszy dokument

określa, jakie prace powinny być przeprowadzone na poszczególnych etapach rozwoju inwestycji. Określa także szerokość badanego korytarza wraz z buforem. Drugi dokument bardzo konkretnie charakteryzuje ramy zarządzania kontrolą niewybuchów, zawierając rekomendacje dotyczące metod, a nawet bardzo precyzyjnych parametrów prowadzonych badań (poszukiwania materiałów o właściwościach magnetycznych o określonej masie albo niemagnetycznych o określonej wielkości). Dokument ten, oparty na długoletnich doświadczeniach, jest powszechnie stosowany przez brytyjską branżę *offshore*. Zdaniem autora, bezpiecznie można więc założyć, że z powodu braku lepszych materiałów odniesienia może stanowić on dobrą bazę wyjściową także do naszych bałtyckich projektów.

Doświadczenia z rynku ropy naftowej i gazu oraz ich przeniesienie na inne inwestycje *offshore* podsumowuje artykuł dotyczący ograniczania ryzyk gruntowych [17]. Chociaż stosowane wcześniej podejście nie zawsze może mieć bezpośrednie przełożenie na płytkie akweny Polskich Obszarów Morskich, których rzeźba dna, charakter osadów i część gruntów ukształtowane zostały przez działalność lądolodu skandynawskiego, to podstawowe podejście oparte na modelu gruntu może zapewnić właściwy mechanizm identyfikacji i zrozumienia procesów depozycyjnych i postdepozycyjnych oraz ich skutków w kontekście geotechnicznym.

Zdarzają się przypadki, że inwestorzy podczas konferencji naukowych dzielą się swoimi doświadczeniami chociażby w ramach wystąpień na konferencjach naukowych [23]. Można znaleźć informacje o dobrych praktykach oraz propozycje zarządzania ryzykami gruntowymi. Wskazano tam np. zależność pomiędzy liczbą badań a powiązaniem z tym ryzykiem, co może pomóc określić optymalne zakresy kampanii badawczych. Nawet poziom akceptowalnych ryzyk może być różny pośród inwestorów, co projektanci powinni brać pod uwagę. Jednocześnie zwraca się uwagę, że kluczem do efektywnej kampanii jest uwzględnienie odpowiednich metod badawczych oraz ich dopasowanie do rodzaju i wymiarów fundamentów.

Podsumowując, przytoczone przykłady dotyczą specyficznych uwarunkowań akwenów morskich w wybranych krajach, ale potrzeby projektów morskiej energetyki wiatrowej są w dużej mierze zbliżone, niezależnie od akwenu i rynku. Przy braku własnych doświadczeń w tym zakresie wykorzystanie dorobku badaczy i praktyków z innych akwenów morskich powinno być dobrym punktem wyjścia. Uwzględniając także wiedzę dotyczącą Bałtyku, lokalne uwarunkowania, choćby prawno-regulacyjne i techniczne dotyczące projektowania oraz wykorzystując doświadczenie ludzi i firm, prowadzących podobne działania, jest możliwe stworzenie kampanii geofizycznej czy geotechnicznej, spełniającej wysokie

wymagania, oraz uzyskanie danych, pozwalających na bezpieczne i kosztowo optymalne zaprojektowanie konstrukcji wsporczych dla planowanych inwestycji.

PODSUMOWANIE

Powyżej, na podstawie różnych źródeł, przedstawiono przeglądowe informacje, dotyczące ryzyk związanych z różnymi aspektami morskiej energetyki wiatrowej. Poruszono jedynie wybrane zagadnienia. Ich uzupełnieniem mogłyby być zagadnienia kontraktowe, zarówno jako ryzyka związane z umowami, jak i użycie ich jako narzędzi mitygujących, zarządzania ryzykami harmonogramowymi, w tym modelowania okien pogodowych i ryzyk przestojów oraz wykorzystania w tym procesie probabilistyki. Mimo że kluczowi gracze branżowi zwykle pilnie strzegą swojego *know-how*, to domena publiczna pełna jest użytecznych informacji, po które warto sięgnąć.

Przedstawione wybrane przykłady mogą stanowić dowód, że możliwe jest odniesienie dostarczanych przez nie informacji do sytuacji, przed jakimi stają, lub z jaką mogą się zmagać polskie projekty. Celem oraz ideą rozdziału było pokazanie mechanizmu wykorzystania dostępnej wiedzy w praktyce projektowej. Plan zarządzania ryzykiem zawiera zwykle rekomendację, dotyczącą wykorzystania wniosków z innych podobnych projektów w celu zminimalizowania prawdopodobieństwa wystąpienia takiego zdarzenia w ramach naszego projektu lub ograniczenia jego skutków. Bazowanie na doświadczeniach innych pomaga w budowaniu wiedzy o ryzykach.

Każdy projekt morskiej energetyki wiatrowej charakteryzuje się własnym zestawem zagrożeń i szans. Profil ryzyka powinien być w dużej mierze zbieżny dla projektów realizowanych w podobnych warunkach, więc ryzyka mogą się w mniejszym lub większym zakresie pokrywać. Dotychczasowe opracowania mogą posłużyć jako wartościowe źródła wiedzy czy danych, choć nie uchylą odpowiedzialności za właściwe zarządzanie ryzykiem z uwzględnieniem uwarunkowań konkretnego projektu. Odpowiednio użyte wzorce i inspiracje mogą ułatwić pracę, szczególnie na etapie organizacji projektu. Pozwolą także na przesunięcie kilku bardzo istotnych zagadnień z kategorii „nieznane nieznane” do „znane nieznane”. W złożonym świecie pełnym niepewności będzie to niewątpliwą zaletą, pozwalającą na oszczędności czasu i pieniędzy. Szansy tej nie można zaprzepaścić.

BIBLIOGRAFIA

1. *A Guide to the Project Management Body of Knowledge – PMBOK Guide*, PMI, 2021.
2. *Application Guide for the Specification of the Depth of Lowering using CBRA Methodology*, Carbon Trust, 2015.
3. *A Turning Point for Offshore Wind – Global Opportunities and Risk Trends*, Allianz, wrzesień 2023.
4. *Cable Burial Risk Assessment Methodology*, Carbon Trust, 2015.
5. *Down to the Wire: An Insurance Buyer's Guide to Subsea Cabling Incidents*, GCube, 2015.
6. Felici R., Caruso D., *Cable Protection Systems and Submarine Cable Failures*, OWC, 2022.
7. *Guidance for Geophysical Surveying for Unexploded Ordnance and Boulders Supporting Cable Installation*, Carbon Trust, 2020.
8. *Guidelines for Offshore Wind Power Studies and Survey*, Indian Ministry of New and Renewable Energy, 2018.
9. *Guidelines for Providing Geophysical, Geotechnical, and Geohazard Information*, Bureau of Ocean Energy Management, czerwiec 2024.
10. ISO 31000, *Risk management – Guideline*, ISO, 2018.
11. Lloyd Warwick, *International Offshore Wind Loss Adjusters Perspective*, ORE Catapult, kwiecień 2021.
12. *Managing Successful Projects with PRINCE2*, AXELOS, 2023.
13. *Offshore Transmission and Cables Report*, TGS, 2024.
14. *Overview of Geophysical and Geotechnical Marine Surveys for Offshore Wind Transmission Cables*, Offshore Wind Programme Board, 2015.
15. *Petronas Probes Fatal Blaze on Geotech Vessel*, Upstream, kwiecień 2018.
16. Pirrone A., Li Z., Sikorski Ł., *Ground Conditions of the Polish Baltic Sea*, OWC, 2020.
17. Power P., Clare M., Rushton D., Rattley M., *Reducing Geo-risks for Offshore Developments*, Bundesanstalt für Wasserbau, 2011.
18. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 20 grudnia 2011 r. w sprawie szczegółowych wymagań dotyczących projektów robót geologicznych (...).
19. Strang-Moran Ch., *Subsea Cable Management: Failure Trending for Offshore Wind*, European Academy of Wind Energy, marzec 2020.
20. *The Standard for Risk Management in Portfolios, Programs and Projects*, PMI, 2019.

21. *Trawler Owners Being Sued for €800,000 after Allegedly Damaging Undersea Internet Cable*, The Irish Times, czerwiec 2024.
22. *Uncharted Waters: Navigating Emerging Risks and Rising Claims in Global Offshore Wind*, GCube, 2021.
23. Wood M., Knight P., *Site Investigation and Geotechnical Design Strategy for Offshore Wind Development*, International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Paryż 2018.



Łukasz Sikorski – inżynier z duszą humanisty i długoletni miłośnik turbin wiatrowych, postrzegający siebie także jako „człowieka morza”. Posiada 19-letnie doświadczenie w różnych aspektach rozwoju, budowy i eksploatacji projektów wiatrowych. Doświadczenie zdobywał zarówno z ramienia inwestora i wykonawcy, jak i w branży konsultingowej, zajmując się m.in. transakcjami finansowania i przejęć projektów energetyki odnawialnej, a także rozwojem projektów na różnych rynkach. Był dyrektorem w globalnej

firmie doradczej, skupiającej się na morskiej energetyce wiatrowej, a obecnie jest dyrektorem projektu u jednego z polskich deweloperów, odpowiedzialnym za rozwój nowej morskiej farmy wiatrowej. Interesują go zagadnienia, związane ze zmianami kosztów morskiej energetyki wiatrowej, zarządzaniem ryzykiem i projektami, a także aspekty zrównoważonego rozwoju.

Uzyskał tytuł mgr. inż. na Politechnice Gdańskiej oraz ukończył studia MBA na Akademii Leona Koźmińskiego w Warszawie. Obecnie realizuje się także jako gościnny wykładowca pomorskich uczelni na wielu kierunkach, związanych z tematyką morskiej energetyki wiatrowej i zarządzania. Jest także współautorem i redaktorem pierwszej polskiej książki o morskiej energetyce wiatrowej.

Robert GRZEGOROWSKI

Rozdział 2

MIĘDZYNARODOWE ORGANIZACJE ODPOWIEDZIALNE ZA BEZPIECZEŃSTWO W ŻEGLUDZE MORSKIEJ ORAZ SEKTORZE WYDOBYWCZYM I MORSKIEJ ENERGETYCE WIATROWEJ

WSTĘP

Organizacje międzynarodowe jako podmioty politycznoprawne (rządowe i pozarządowe) stanowią istotny element międzynarodowego systemu oddziałującego na państwa, ich politykę zewnętrzną i wewnętrzną. Powstanie międzynarodowych instytucjonalnych form porządkujących bezpieczeństwo żeglugi na morzu nastąpiło już w XV wieku, kiedy to Fenicjanie wprowadzili podwaliny prawa regulującego najistotniejsze stosunki z zakresu handlu morskiego, takie jak proste formy umowy przewozowej i wymogów jej bezpieczeństwa.

Pierwsze znane organizacje międzynarodowe pojawiły się w strukturach międzynarodowych w XVIII wieku. Były to: Komisja ds. Spraw Żeglugi na Renie (1815 r.), British and Foreign Slavery Society (1823 r.) oraz Royal Asiatic Society (1823 r.) [12]. Były to instytucje regulujące żeglugę morską prowadzoną przez statki żaglowe, która uległa technologicznej rewolucji, gdy do eksploatacji weszły statki napędzane maszyną parową, a w XX wieku – napędzane silnikami spalinowymi. W sposób znaczący wzrosła wtedy rola żeglugi oraz transportu morskiego, co stanowiło podstawy stworzenia zasad bezpieczeństwa technicznego, bez których kontrahenci byli narażeni na ryzyko utraty przewożonych towarów. Zapobiegała temu utworzona w 1874 roku Międzynarodowa Unia Ubezpieczeń Morskich, co w późniejszych latach wpłynęło na ideę międzynarodowych organizacji o charakterze technicznym, odpowiedzialnych za kształtowanie przepisów oraz regulacji odnośnie do bezpieczeństwa żeglugi morskiej. Co ciekawe, kwestie

zanieczyszczenia środowiska, spowodowane wypadkami morskimi, nie były wtedy jeszcze w żaden sposób zauważane. Zasadniczy rozwój organizacji międzynarodowych oraz procesów kształtujących stosunki międzynarodowe w zakresie bezpieczeństwa żeglugi nastąpił dopiero w połowie XX wieku. Kluczowym wydarzeniem, mającym wpływ na podjęcie prac w zakresie konstytuowania międzynarodowych przepisów bezpieczeństwa morskiego, była tragedia „Titanica” w 1912 roku, jednakże okres pomiędzy I i II wojną światową spowolnił ten proces.

Zważywszy na fakt, iż żegluga morska nie była i nie jest ograniczona do pojedynczego państwa czy akwenu morskiego, od początku podejmowane działania, mające na celu poprawę bezpieczeństwa żeglugi, miały zasięg międzynarodowy, regulowany w zakresie wymagań prawnych i technicznych przez dedykowane organizacje międzynarodowe. W świetle obowiązujących przepisów prawa międzynarodowego „organizacja międzynarodowa” jest to zrzeszenie co najmniej trzech podmiotów, utworzone dla realizacji wspólnego celu, który ma charakter międzynarodowy bądź jest realizowany poprzez działalność międzynarodową [12]. Warto podkreślić fakt, iż w ostatnim dwudziestoleciu ciężar kwestii, związanych z bezpieczeństwem morskim, zaczął przesuwać się od tradycyjnych morskich mocarstw, takich jak Wielka Brytania, Stany Zjednoczone, Chiny, Niemcy, Holandia czy Norwegia w stronę dużej liczby mniejszych państw reprezentujących potencjał gospodarczy oraz, co ważne, posiadających większość głosów w organizacjach międzynarodowych, zajmujących się kwestiami bezpieczeństwa morskiego oraz jego zarządzaniem. Łączą one siły i wysiłki państw członkowskich na rzecz osiągnięcia celów i zadań, których nie byłyby w stanie zrealizować pojedyncze państwa z powodu braku możliwości posiadania „międzynarodowej morskiej zdolności prawnej” oraz efektywnej zdolności do pojedynczego działania.

Zakres, którym zajmują się organizacje międzynarodowe w aspektach bezpieczeństwa żeglugi, obejmuje m.in.:

- zagadnienia polityczno-prawne;
- żeglugę oraz transport morski;
- kwestie bezpieczeństwa przy wykorzystywaniu obszarów morskich i zasobów mineralnych na dnie mórz;
- zasoby biologiczne morza;
- kwestie badań naukowych;
- współpracę na morzach i oceanach;
- sprawy sądowo-arbitralne.

Dotychczas najbardziej efektywnym sposobem na podnoszenie bezpieczeństwa na morzu jest tworzenie oraz rozwijanie międzynarodowych regulacji przestrzeganych przez kraje, które są sygnatariuszami międzynarodowych konwencji morskich. Kraje te zobowiązane są do implementacji wymogów prawnych i technicznych konwencji dla statków handlowych oraz jednostek z morskiego sektora wydobywczego (ang. *Oil & Gas*), co konstituuje gwarancję bezpieczeństwa żeglugi, życia ludzkiego oraz ochrony środowiska morskiego.

1. MIĘDZYNARODOWE KONWENCJE MORSKIE, 15.04.1912 – DATA, KTÓRA WSZYSTKO ZMieniŁA

Mówiąc o zarządzaniu ryzykiem w morskim przemyśle wydobywczym oraz energetyce wiatrowej na morzu, nasuwają się tematy związane z bezpieczeństwem morskim, czyli zagadnieniami, które zgodnie z sektorową definicją mówią o minimalnych wymaganiach oraz działaniach, których nadrzędnym celem jest zapewnienie bezpieczeństwa życia, zdrowia i mienia, od zagrożeń środowiskowych i eksploatacyjnych, które niesie za sobą żegluga morska oraz eksploracja zasobów naturalnych na dnie morza.

Przed utworzeniem jednak obecnych wymagań prawnych obowiązujących jako międzynarodowe czy krajowe akty i rozporządzenia, regulujące bezpieczeństwo morskie, nastąpiły tragiczne wydarzenia w nocy z 14 na 15 kwietnia 1912 roku, kiedy to w zderzeniu z górą lodową, podczas swojego dziewiczego rejsu na trasie Southampton – Cherbourg – Queenstown – Nowy Jork, zatonął Royal Mail Ship „Titanic” – brytyjski transatlantyk typu Olympic. W katastrofie tej życie straciło 1496 osób spośród 2208 pasażerów i członków załogi, przeżyło tylko 712 osób.

„Titanic” należał do brytyjskiego towarzystwa okrętowego White Star Line i był trzecią jednostką transatlantycką tego armatora. W ocenie opinii publicznej statek uchodził za niezatapialny, choć podkreślić należy fakt, iż sam armator nigdy nie użył takiego sformułowania, mając na uwadze innowacyjne rozwiązania zastosowane przy jego projektowaniu i budowie, takie jak choćby kadłub statku, który został podzielony na 16 oddzielnych sekcji z w pełni automatycznym systemem zamykania grodzi wodoszczelnych, czy tłokowe maszyny parowe, które były największymi urządzeniami tego rodzaju, jakie kiedykolwiek skonstruowano.

Niestety, oprócz innowacyjnych rozwiązań technicznych, przepychu wystroju wnętrza, który zachwyca wielu projektantów statków pasażerskich po dziś dzień, w kwestii bezpieczeństwa żeglugi „Titanic” zbudowany został według wręcz

archaicznych przepisów Brytyjskiej Izby Handlowej. Do dziś ekspertów z branży bezpieczeństwa morskiego zadziwiają (w negatywnym tego słowa znaczeniu) zastosowane przepisy, stanowiące o obowiązkowej liczbie miejsc w szalupach statku, ustalonej na podstawie wyporności jednostki, a nie liczby pasażerów i załogi. Przepisy te były po prostu nielogiczne i, jak się okazało, tragiczne w skutkach [39].

Dla „Titanica”, jak i innych statków pasażerskich z tamtego okresu, wiążącym punktem tego przepisu była następująca zasada, iż statek pełnomorski o wyporności powyżej 10 000 BRT musi być wyposażony w:

- minimum 16 szalup ratunkowych, mających powierzchnię nie mniejszą niż 260 m²;
- tratwy ratunkowe o pojemności 75% szalup [19].

„Titanic” spełniał ww. wymagania z dużą nawiązką, jednak w owych czasach nikt nie zdawał sobie sprawy z rozbieżności między przepisem skonstruowanym dla jednostek czterokrotnie od niego mniejszych a rzeczywistymi warunkami na gigantycznym liniowcu. Szalup ratunkowych na statku było po prostu za mało. Szesnaście zawieszonych na żurawikach szalup wraz z szalupami składanymi i tratwami mogło pomieścić co najwyżej 1170 osób. Co zdarzyło się tej tragicznej nocy, wszyscy dziś wiemy. Obecnie znanych jest bardzo dokładnie wiele faktów, przekazanych przez uratowanych pasażerów, zarówno z przebiegu zatonięcia „Titanica”, jak i błędów popełnionych podczas ewakuacji oraz w trakcie procesu budowy jednostki, a także błędów wynikających z metalurgicznych procesów zakuwania nitów łączących poszycie jednostki [14]. Istotny jest fakt, iż o ile może nie udałooby się uniknąć zatonięcia statku, o tyle liczba łodzi ratunkowych, odpowiadająca choćby liczbie osób na pokładzie, znacznie zmniejszyłaby rozmiar katastrofy. Ale to już historia, tragiczna, jednakże to ona właśnie spowodowała rozpoczęcie aktywnych, regularnych prac nad ciągłą nowelizacją zasad bezpieczeństwa morskiego oraz ich rozwój w globalnej flocie handlowej. Prace legislacyjne nie spowodowały jednak całkowitego uniknięcia katastrof morskich. Wciąż mamy do czynienia z katastrofami, w których giną ludzie, przepada mienie (statki) oraz zanieczyszczane jest środowisko morskie [6].

Za największą katastrofę morską pod względem liczby ofiar uznaje się zatopienie statku M/V „Wilhelm Gustloff” na Morzu Bałtyckim, która wydarzyła się 30 stycznia 1945 roku. M/V „Wilhelm Gustloff” był niemieckim statkiem pasażerskim, który został zbudowany w latach 1936–1937 i był pierwotnie przeznaczony do transportu emigrantów z Niemiec do Ameryki Południowej. Podczas II wojny światowej został zmieniony na statek transportowy i służył do ewakuacji

niemieckich cywilów, żołnierzy i urzędników z terenów wschodnich. 30 stycznia 1945 roku M/V „Wilhelm Gustloff” został storpedowany na Morzu Bałtyckim przez radziecki okręt podwodny S-13, co spowodowało zatopienie statku. W wyniku katastrofy zginęło około 9400 osób. Zatopienie M/V „Wilhelm Gustloff” było jedną z największych katastrof morskich w historii i uważane jest za jeden z największych masowych mordów w historii ludzkości.

Wypadek, który miał miejsce 24 marca 1989 roku, to z kolei druzgocąca w skutkach dla środowiska naturalnego tragedia, kiedy to tankowiec M/V „Exxon Valdez” uderzył w rafę skalną na wybrzeżu Alaski, powodując wyciek około 37 000 ton ropy naftowej do wód Zatoki Księcia Williama. W wyniku katastrofy zginęło wiele zwierząt morskich, w tym fok, morświnów i orek, a skutki ekologiczne były poważne i długotrwałe. Ropa naftowa zanieczyściła około 2400 km wybrzeża Alaski, zabijając dziesiątki tysięcy zwierząt i szkodząc rybołówstwu oraz turystyce. Wypadek ten stanowi jedną z największych katastrof, związanych z zanieczyszczeniem wód morskich w historii i spowodował powstanie nowych przepisów, dotyczących transportu ropy naftowej oraz innych niebezpiecznych substancji na pokładach statków [25].

Katastrofa promu „Estonia” był to wypadek, który miał miejsce 28 września 1994 roku na Morzu Bałtyckim. Prom pasażerski „Estonia”, płynący z Tallinna do Sztokholmu, zatonął po godzinie 1:00 w nocy. Zginęły 852 osoby spośród 989 znajdujących się na pokładzie. Przyczyną katastrofy był uszkodzony system zamknięcia furty dziobowej, co spowodowało zalanie ładowni jednostki i w szybkim czasie utratę stateczności. Brak odpowiedniej liczby kamizelek ratunkowych i niewystarczające wyszkolenie załogi do akcji ratunkowej to była jedna z przyczyn, które znacząco przyczyniły się do tak wielkiej liczby ofiar [21].

Katastrofa rosyjskiego atomowego okrętu podwodnego „Kursk” miała miejsce 12 sierpnia 2000 roku na Morzu Barentsa. M/V „Kursk” uległ wypadkowi w trakcie ćwiczeń wojskowych i zatonął. W wyniku katastrofy zginęło 118 członków załogi. Przyczyną wypadku była eksplozja torpedy, która spowodowała pożar i wybuch, a następnie zatonięcie statku. W akcji ratunkowej brało udział wiele państw i organizacji, jednak wszystkie próby podniesienia okrętu z dna Morza Barentsa zakończyły się niepowodzeniem. Zatonięcie „Kurska” było jednym z największych wypadków morskich, związanych z okrętami podwodnymi w historii Rosji [28].

Katastrofa morska promu „Costa Concordia” był to wypadek, który miał miejsce 13 stycznia 2012 roku na Morzu Śródziemnym. W wyniku manewru zbliżenia się do wybrzeża wyspy Giglio w Toskanii prom pasażerski „Costa Concordia” zderzył się z podwodnymi skałami, co spowodowało zatonięcie statku.

W wyniku tej katastrofy zginęły 32 osoby, a 64 zostały ranne. Kapitan statku został oskarżony o nieumyślne spowodowanie katastrofy, gdyż zbliżył statek za bardzo do wybrzeża i zaniechał podjęcia odpowiednich działań, aby uniknąć kolizji. Prom „Costa Concordia” pozostawał na mieliźnie przez ponad dwa lata, a jego ostateczne usunięcie zajęło ponad trzy lata i kosztowało około 2 miliardów euro. Tej katastrofy można byłoby uniknąć, gdyby nie błąd ludzki podczas standardowych operacji morskich.

Jak widać z kilku przytoczonych przykładów katastrof morskich tylko w XX wieku, mimo istniejących ram prawnych, technicznych wymogów definiujących bezpieczeństwo statków, ich urządzeń mechanicznych, bezpiecznie prowadzonych operacji morskich wciąż dochodzi do utraty życia ludzkiego, utraty mienia oraz skażenia środowiska morskiego. Po każdej tragedii morskiej zawsze zadawane są te same pytania, z tym jednym głównym „czy można było uniknąć tragedii”? Każda tragedia morska nierozzerwalnie związana jest z ludzkim dramatem. Niemalże po każdej z nich pojawiają się projekty poprawy bezpieczeństwa morskiego poprzez rewizję obowiązujących przepisów oraz wprowadzenie bardziej restrykcyjnych regulacji. Dedykowane komisje morskie starają się wyjaśnić przyczyny każdej z takich tragedii, jednakże wielokrotnie odpowiedzi na pytania, czy można było uniknąć błędów konstrukcyjnych powstałych w fazie budowy, oraz niezgodna z wymaganiami międzynarodowych konwencji eksploatacja statku czy niewystarczający brak wyszkolenia załóg, niestety, często pozostają, jak pokazuje tragiczna historia katastrof morskich, otwartą kwestią adresowaną do międzynarodowych organizacji, w tym IMO (ang. *International Maritime Organization*).

2. MIĘDZYNARODOWA ORGANIZACJA MORSKA – IMO

Jak wspomniano we wstępie, jednym z najbardziej efektywnych sposobów na podnoszenie bezpieczeństwa na morzu jest tworzenie oraz rozwijanie międzynarodowych regulacji przez kraje, które są sygnatariuszami międzynarodowych konwencji. W tym celu grupa państw zaproponowała utworzenie stałego międzynarodowego ciała do efektywnego działania na rzecz bezpieczeństwa morskiego. W 1948 roku na konferencji w Genewie przyjęto pierwsze podwaliny pod Międzynarodową Organizację Morską (ang. IMO – *International Maritime*

Organization)¹, która pierwotnie nazywała się *International Governmental Maritime Consultive Organization* (IMCO).

Międzynarodowa Organizacja Morska jest wyspecjalizowaną agendą Organizacji Narodów Zjednoczonych zajmującą się wyłącznie sprawami morskimi, a w szczególności zagadnieniami związanymi z bezpieczeństwem na morzu oraz zapobieganiem zanieczyszczaniu środowiska morskiego przez statki. Organizacja rozpoczęła działalność 17 marca 1958 roku, w dniu wejścia w życie konwencji o Międzypaństwowej Morskiej Organizacji Doradczej (ang. *Inter-Governmental Maritime Consultative Organization* – IMCO) uchwalonej przez ONZ dnia 6 marca 1948 roku. Pierwsza sesja Zgromadzenia Organizacji odbyła się w dniach od 6 do 19 stycznia 1959 roku. Obecnie członkami IMO jest 166 państw, a 3 państwa są tzw. członkami stowarzyszonymi [32].

2.1. Działalność IMO

Podstawowym zadaniem IMO jest opracowywanie i uchwalanie postanowień w sprawach wyznaczonych organizacji we wspomnianej już Konwencji ONZ z 6 marca 1948 roku. Działania legislacyjne w dziedzinach bezpieczeństwa żegluga, ochrony środowiska i rozwoju handlu morskiego zaowocowały zawarciem kilkudziesięciu konwencji międzynarodowych, które w celu efektywnej realizacji dostosowywane są do zmiennych w czasie warunków funkcjonowania żegluga międzynarodowej, podyktowanych rozwojem technologii napędów jednostek, systemów telekomunikacyjnych oraz nowymi typami jednostek, zwłaszcza w sektorze olejowym i morskiej energetyki wiatrowej. Te właśnie potrzeby aktualizacji są źródłem postanowień zawierających poprawki, uzupełnienia oraz nowelizacje do tekstów konwencji i do przywołanych w nich kodeksów. Są też one źródłem postanowień o randze pozornie niższej (rezolucji czy interpretacji), które jednak warunkują wykonanie postanowień konwencyjnych zgodnie z intencjami. Postanowienia są zalecane rządów państw członkowskich do wdrożenia w formie

¹ Konwencja o Międzypaństwowej Organizacji Morskiej została przyjęta przez Konferencję Morską Narodów Zjednoczonych w Genewie w dniu 6 marca 1948 r. Pierwotnie Organizacja została powołana jako Międzypaństwowa Morska Organizacja Konsultacyjna (IMCO). Nazwa organizacji została zmieniona w 1975 r. na dzisiejszą (A.358(IX) i A.371(X)). Konwencja weszła w życie w 1958 r. po 10 latach. Pierwsze posiedzenie Zgromadzenia IMO odbyło się w styczniu 1959 r. Zob. D. Lost-Siemńska, *Reforma Międzypaństwowej Organizacji Morskiej*, Gdańskie Studia Prawnicze, 2022, nr 3, s. 9.

odpowiadającej systemowi prawnemu tych państw. Są to ustawy, zarządzenia administracji, normy technologiczne oraz instrukcje wykonawcze [32].

Merytoryczna działalność IMO jest realizowana przez specjalistyczne Komitety i Podkomitety. W ich skład wchodzi delegaci państw członkowskich o formalnym statusie delegacji rządowej. Delegacja taka na sesję Komitetu, Rady i Zgromadzenia przedkłada Sekretarzowi Generalnemu specjalne listy uwierzytelniające. W pracach tych organów uczestniczą również przedstawiciele ONZ oraz obserwatorzy z ramienia organizacji międzyrządowych i pozarządowych.

Cele działania IMO i programy pracy jej organów, aktualizowane co 2 lata na sesjach Zgromadzenia, są realizowane poprzez szeroką wymianę informacji, analiz i koncepcji rozwiązań, dokonywaną w komitetach, podkomitetach, grupach roboczych i innych organach IMO oraz poprzez sporządzanie i uchwalanie umów międzynarodowych, określanie w rezolucjach i okólnikach wymagań i zaleceń, a także poprzez usługi informacyjne i doradcze świadczone państwom członkowskim w ramach współpracy technicznej. Językiem roboczym jest język angielski, natomiast językami oficjalnymi IMO są: angielski, arabski, chiński, francuski, hiszpański i rosyjski. Dokumenty organów IMO publikowane są tylko w języku angielskim, francuskim i hiszpańskim [32].

2.2. Konwencje i kodeksy IMO

Od początku swojego istnienia IMO opracowuje konwencje i kodeksy bezpośrednio regulujące kwestie bezpieczeństwa na morzu oraz efektywnego systemu zarządzania operacyjnego statkami floty handlowej, statkami pasażerskimi oraz jednostkami z sektora Oil&Gas, takimi jak np. platformy wydobywcze.

Załącznik 1 prezentuje listę konwencji morskich. Wśród kilkudziesięciu głównych konwencji i kodeksów morskich, obowiązujących w sektorze żeglugi morskiej, wydobywania ropy i gazu oraz morskiej energetyki wiatrowej, warto na pierwszym miejscu wymienić konwencję SOLAS, MARPOL, IMS czy ISPS².

² Lista dokumentów IMO – rządowa strona Ministerstwa Infrastruktury (styczeń 2025), <https://www.gov.pl/web/infrastruktura/dokumenty-imo>.

2.2.1. Międzynarodowa Konwencja o Bezpieczeństwie Życia na Morzu – Konwencja SOLAS

Pierwszym zadaniem IMO było przyjęcie nowej wersji konwencji o bezpieczeństwie morskim SOLAS³ (ang. *International Convention for the Safety of Life at Seas*), co zostało osiągnięte dopiero w 1960 roku. Konwencja ta obejmowała kwestie uregulowania ruchu morskiego, transportu ładunków i towarów niebezpiecznych oraz istotny problem rewizji systemu tonażu statków, bezpośrednio związany z opłatami portowymi oraz wysokością składek ubezpieczeniowych.

Międzynarodowa Konwencja o Bezpieczeństwie Życia na Morzu (SOLAS) została uchwalona przez IMO w 1974 roku, wchodząc w życie w 1980 roku, zmieniając Konwencję z 1978 oraz 1988 roku, zastępując konwencję z 1960. Nadrzędnym celem tej konwencji jest podnoszenie bezpieczeństwa życia na morzu poprzez ustalanie jednolitych zasad i przepisów dla statków, które odbywają podróże międzynarodowe, zawijając co najmniej do dwóch portów, dwóch różnych krajów. Fakt ten jest istotny do wyjaśnienia, dlatego że w świetle Konwencji SOLAS statek handlowy, odbywający rejs z portu np. ze wschodniego wybrzeża Stanów Zjednoczonych, Nowego Jorku czy Chicago do portu na zachodnim wybrzeżu np. San Francisco, odbywa podróż krajową i tym samym może być zwolniony z wymogów konwencji. Jest to przypadek dość jednostkowy, jednakże zgodny z wymogami konwencji. Konwencja SOLAS, tak samo jak np. Międzynarodowa Konwencja o Zapobieganiu Zanieczyszczaniu Morza przez Statki (MARPOL) nie ma zastosowania do:

- okrętów marynarki wojennej i statków wojennych do przewozu wojska;
- statków towarowych o pojemności brutto mniejszej niż 500 ton;
- statków bez napędu mechanicznego (np. barki);
- statków rybackich;
- jachtów rekreacyjnych;
- statków drewnianych (np. promy pasażerskie wciąż operujące pomiędzy Kowloon a Hongkongiem).

³ Pierwsza konwencja SOLAS została przyjęta w 1914 r., po katastrofie „Titanica”. IMO objęło SOLAS swoim auspicjami i nadal rozwija jej nowe wersje, stale zmieniając traktat, aby dotrzymać kroku nowym technologiom i sprostać nowym wyzwaniom. Konwencja SOLAS 1974 weszła w życie 25 maja 1980 r. i obecnie obejmuje 167 państw-stron, DzU z 2016 r., poz. 869, DzU z 2017 r., poz. 142.

2.2.2. Międzynarodowa Konwencja o Zapobieganiu Zanieczyszczaniu Morza przez Statki, Konwencja MARPOL 73/87 (ang. International Convention for the Prevention of Pollution from Ships)

Oprócz istotnych kwestii bezpieczeństwa żeglugi inną ważną kwestią okazała się sprawa zatrucia środowiska po takich katastrofach morskich jak wypadek tankowca „Torrey Canyon”, pierwszego supertankowca, z którego w kolizji ze skałami u wybrzeży Francji wypłynęło 120 000 ton ropy, degradując znacząco francuskie plaże, czy wspomniana katastrofa tankowca „Exxon Valdez” klasy VLCC (ang. *Very Large Crude Oil Carrier*) z 1989 roku, która skutkowała zaostrzeniem przepisów klasyfikacyjnych odnośnie do budowy kadłubów tankowców (ang. *double hull*) w zakresie podwójnych zbiorników balastowych umieszczonych w poszyciu statków. Z biegiem lat IMO zaostrzała przepisy odnoszące się do zapobiegania wypadkom tankowców oraz procedurom operacyjnym, takim jak czyszczenie zbiorników czy wymiana wód balastowych, co kompleksowo zostało odzwierciedlone w Konwencji MARPOL 73/78⁴.

Wspomniana wyżej Międzynarodowa Konwencja o Zapobieganiu Zanieczyszczaniu Morza przez Statki MARPOL (ang. *International Convention for the Prevention of Pollution from Ship*) jest głównym dokumentem, regulującym kwestie zanieczyszczeń morza przez statki. Omawia ona kwestie związane z zanieczyszczeniem chemicznym mórz, śmieciami i zanieczyszczeniem powietrza. Stanowi zharmonizowany system przeglądów statków i urządzeń, związanych z zapobieganiem zanieczyszczeniom morza (np. odolejacz) wraz z wymogami prowadzenia przez armatora statku dokumentacji potwierdzającej wykonywanie np. operacji czyszczenia wód zaolejonych zgodnie z przyjętą i zatwierdzoną procedurą (ISM) w celu utrzymania lub odnowienia certyfikatu przeglądu [37].

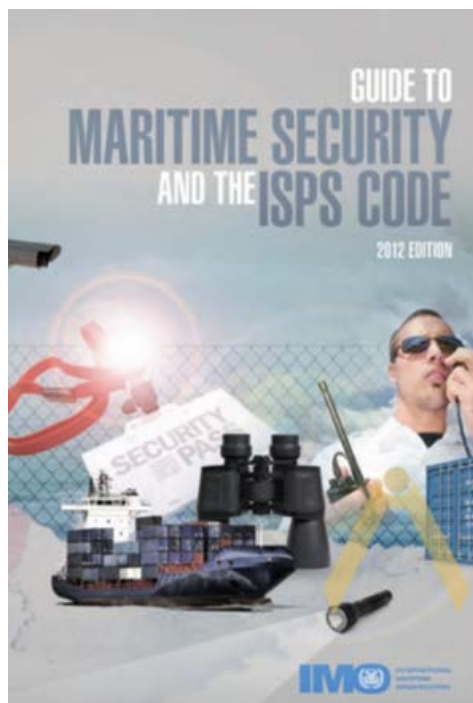
Zgodnie z wymogami IMO zawartymi w części XII Konwencji UNCLOS [29], państwa członkowskie IMO stale prowadzą prace, mające na celu przeciwdziałanie zagrożeniom związanym z zanieczyszczeniem mórz przez statki. Wiele instrumentów IMO dotyczy wyłącznie zapobiegania zanieczyszczaniu mórz, niezależnie od tego, czy wprowadzenie substancji zanieczyszczających do morza jest wynikiem wypadku z udziałem statku, czy też jest skutkiem zrzutów eksploatacyjnych ze statku.

Obecnie istnieją inne poważne zagrożenia dla żeglugi morskiej i środowiska morskiego, w tym także coraz bardziej widoczne skutki zmian klimatu. Reagowanie

⁴ Konwencja MARPOL 1973/1978 weszła w życie 10 października 1983 r. i obecnie obejmuje 160 państw stron, DzU z 2016 r., poz. 761.

na te zagrożenia i inne wyzwania jest istotnym zadaniem IMO na nadchodzące lata. Plan strategiczny oraz zawarte w nim oświadczenie o misji potwierdzają, że IMO będzie utrzymywać swoją wiodącą rolę jako globalnego regulatora żeglugi, nadal promując bezpieczną, przyjazną dla środowiska, wydajną i zrównoważoną żeglugę poprzez współpracę na poziomie międzynarodowym⁵. Plan strategiczny IMO wspiera kierunki, które obejmują poprawę wdrażania, integrację nowych i zaawansowanych technologii w ramach regulacyjnych, reagowanie na zmiany oraz ciągłe zarządzanie bezpieczeństwem morskim [12].

2.2.3. Międzynarodowy Kodeks Ochrony Statku i Obiektu Portowego ISPS (ang. International Ship and Port Facility Security Code)



Kwestie dotyczące bezpieczeństwa żeglugi obejmują także zagadnienia związane z piractwem morskim, atakami terrorystycznymi oraz porwaniami statków i członków załóg statków handlowych czy jednostek dedykowanych dla sektora wydobywczego. Po ataku terrorystycznym na nowojorski World Trade Center i powiązanych z nim atakach na inne budynki administracji USA z dnia 11.09.2001 roku, państwa członkowskie IMO podjęły przyspieszone działania, wprowadzając szereg poprawek do Konwencji SOLAS, które odnosiły się do kwestii bezpieczeństwa (ang. *security*) armatorów, zarządów portów, terminali morskich, spedytorów oraz administracji morskich. Kodeks ISPS wszedł w życie

już w 2004 roku, opisując obowiązkowe wymogi bezpieczeństwa, realizowane przez państwa, będące sygnatariuszami Konwencji SOLAS, armatorów oraz kapitanów statków i kierowników zarządzających operacyjnie platformami wiertniczymi OIM

⁵ Plan Strategiczny IMO, który zawiera cele nadrzędne oraz misje IMO na lata 2024 do 2030 [22].

(ang. *Offshore Installation Manager*), oraz zalecane wymogi bezpieczeństwa zawarte w procedurach pomocniczych⁶.

2.2.4. Inne konwencje IMO

Inne istotne konwencje morskie odpowiedzialne także za kwestie związane z bezpieczeństwem środowiska morskiego są to: Konwencja Systemu Antyzanieczyszczeniowego ASF (ang. *Anti-fouling System*), przyjęta przez IMO w 2021 roku oraz przyjęty w 2024 roku System Zarządzania Wodami Balastowymi (ang. *Balast Water Management*).

Kwestie zarządzania bezpieczeństwem na morzu obejmują również zagadnienia związane z systemami komunikacji i nawigacji satelitarnej, które zainicjowane zostały przez IMO w 1970 roku poprzez powołanie globalnego systemu (ang. *Search & Rescue*) [37] oraz powołanie w tym samym roku IMSO (*International Mobile Satellite Organization*), co znacząco poprawiło kontakt radiowy ze statkami, wpływając na poprawę bezpieczeństwa żeglugi.

Kolejnym systemem poprawiającym bezpieczeństwo żeglugi i jej zarządzanie był przyjęty w 1988 system GMDSS (ang. *Global Maritime Distress and Safety System*), który osiągnął zamierzony zakres pokrycia kuli ziemskiej w 1992 roku, a w roku 1999 stał się w pełni funkcjonującym systemem, w który powinien być obecnie wyposażony każdy statek handlowy [18].

W drugiej połowie lat 90. ubiegłego stulecia (lata 1998–1999) IMO skupiła swoje działania na dwóch kluczowych konwencjach odpowiedzialnych za podniesienie bezpieczeństwa na morzu. Jednym z tych dwóch międzynarodowych aktów, przyjętych przez IMO w 1997 roku, była poprawka do Międzynarodowej Konwencji o Normach Szkoleń Marynarzy z 1995 roku STCW (ang. *International Convention*

⁶ Międzynarodowy Kodeks Ochrony Statku i Obiektu Portowego (ang. *International Ship and Port Facility Security Code*) to zbiór zaleceń i przepisów, których głównym celem jest poprawa bezpieczeństwa żeglugi oraz przeciwdziałanie terroryzmowi. Wymaga od armatorów, portów i rządów opracowania i wdrożenia przepisów i procedur bezpieczeństwa. Wynikło to z przekonania, że statki – podobnie jak samoloty – mogą być ofiarą i narzędziem terroru. Podstawowym założeniem ISPS jest przekonanie, że wszystkie jednostki przebywające na morzu mogą być celem dla organizacji terrorystycznych. Z tego powodu kodeksowi podlegają: statki pasażerskie – promy, statki wycieczkowe, tramwaje wodne, pływające hotele etc., jednostki specjalistyczne – ruchome jednostki wiertnicze, przystosowane do wykonywania odwiertów i badania dna morskiego, statki towarowe – drobnicowce, kontenerowce, masowce, jednostki specjalistyczne etc., o ładowności powyżej 300 GT, porty towarowe i pasażerskie obsługujące jednostki w połączeniach międzynarodowych [20].

on Standards of Training, Certification and Watchkeeping for Seafarers), która znacznie podniosła standardy bezpieczeństwa poprzez nadanie po raz pierwszy w historii działania IMO uprawnień do kontroli rządów w kwestiach zgodności działań tych państw z wymogami konwencji. Konwencja ta dotyczy kompetencji i minimalnych kwalifikacji załóg statków, jednakże potrzeba było aż pięciu lat okresu przejściowego do 2002 roku, kiedy to wszystkie wymogi konwencji w całości weszły w życie.

Drugim aktem, przyjętym w 1998 roku przez IMO w celu zapewnienia bezpieczeństwa na morzu, był **Międzynarodowy Kodeks Zarządzania Bezpieczeństwem ISM** (ang. *International Safety Management Code*) [12]. Kodeks ten ustanawia minimalne standardy zarządzania bezpieczeństwem oraz zapobiegania zanieczyszczeniom. Armator oraz statek powinny wypełniać wymagania ujęte w Kodeksie ISM 33. Kodeks ISM stanowi, że system zarządzania bezpieczeństwem powinien być zgodny z obowiązkowymi regułami oraz procedurami, stosownymi kodeksami, standardami i wytycznymi IMO, państwa bandery oraz instytucji klasyfikacyjnej. Administracja morska bandery, pod którą statek jest zarejestrowany, jest odpowiedzialna za weryfikację oraz wydanie tzw. Dokumentu Zgodności DOC (ang. *Document of Compliance*). Jednakże w świetle zapisów Konwencji IMO może i w większości przypadków dedykuje te funkcje jednemu z towarzystw klasyfikacyjnych, będących członkiem IACS. Jeżeli system zarządzania bezpieczeństwem przyjęty przez armatora jest zgodny z Kodeksem ISM, to towarzystwo klasyfikacyjne wydaje wspomniany wyżej DOC. W celu ujednolicenia interpretacji wymagań systemu ISM towarzystwa klasyfikacyjne, zrzeszone w IACS, w styczniu 1996 roku wprowadziły dedykowaną procedurę, tzw. PR9 (ang. *Procedural Requirement*), która dotyczy wydawania certyfikatów zgodności z Kodeksem ISM, a ponadto opracowały wytyczne w tym zakresie [12]. Towarzystwa klasyfikacyjne odgrywają zatem znaczącą rolę w systemie zarządzania bezpieczeństwem, co zostało podkreślone w następnym rozdziale [9].

Spośród innych ważnych konwencji IMO należy wymienić:

- Międzynarodową konwencję o bezpieczeństwie życia na morzu z 1974 roku (SOLAS 1974) wraz z Protokołami z 1978 i 1988 roku i późniejszymi zmianami;
- Konwencję w sprawie międzynarodowych przepisów o zapobieganiu zderzeniom na morzu z 1972 roku wraz z późniejszymi zmianami (COLREG);
- Międzynarodową konwencję o zapobieganiu zanieczyszczaniu morza przez statki z 1973 roku z Protokołem z 1978 roku (MARPOL 73/78);
- Konwencję o ułatwieniu międzynarodowego obrotu morskigo z 1965 roku (FAL 1965);

- Międzynarodową konwencję o liniach ładunkowych z 1966 roku (LL 1966) wraz z Protokołem z 1988 roku;
- Międzynarodową konwencję o mierzeniu pojemności statków z 1969 roku (TONNAGE 1969);
- Konwencję o utworzeniu Międzynarodowej Organizacji Ruchomej Łączności Satelitarnej z 1976 roku (INMARSAT C) wraz z późniejszymi zmianami i Porozumienie eksploatacyjne, dotyczące Międzynarodowej Organizacji Ruchomej Łączności Satelitarnej z 1976 roku (INMARSAT OA);
- Konwencję o ograniczeniu odpowiedzialności za roszczenia morskie z 1976 roku (LLMC 1976) wraz z Protokołem z 1996 roku;
- Międzynarodową konwencję o wymaganiach w zakresie wyszkolenia marynarzy, wydawania im świadectw oraz pełnienia wacht z 1978 roku (STCW 1978);
- Międzynarodową konwencję o poszukiwaniu i ratownictwie morskim z 1979 roku (SAR 1979);
- Międzynarodową konwencję o ratownictwie z 1989 roku (SALVAGE 1989),
- Międzynarodową konwencję o kontroli i postępowaniu ze statkowymi wodami balastowymi i osadami z 2004 roku (BWM 2004) [33]

oraz kilka istotnych kodeksów opracowanych przez IMO:

- Międzynarodowy kodeks zarządzania bezpieczną eksploatacją statków i zapobiegania zanieczyszczaniu (Kodeks ISM);
- Międzynarodowy kodeks ochrony statków i obiektów portowych (Kodeks ISPS);
- Międzynarodowy kodeks środków ratunkowych (Kodeks LSA);
- Międzynarodowy kodeks budowy i wyposażenia statków przewożących skroplone gazy luzem (Kodeks IGC);
- Międzynarodowe kodeksy bezpieczeństwa jednostek szybkich z 1994 i 2000 roku (Kodeksy HSC 1994 i HSC 2000);
- Kodeks wyszkolenia marynarzy, wydawania świadectw oraz pełnienia wacht (Kodeks STCW);
- Międzynarodowy kod sygnałowy (ICS);
- Kodeks konstrukcji i wyposażenia ruchomych platform wiertniczych (Kodeks MODU 1989);
- Kodeks badania wypadków morskich i zdarzeń;
- Kodeks przewozu towarów i osób statkami zaopatrzeniowymi morskich platform wydobywczych;
- Międzynarodowy lotniczy i morski poradnik poszukiwania i ratowania (IAMSAR).

Wszelkie prace związane z nowelizacją konwencji i kodeksów morskich prowadzi, zgodnie z postanowieniami rezolucji A.970(24) z dnia 12 stycznia 2005 roku, specjalnie powołane w tym celu przez IMO cztery główne komitety:

- Komitet Bezpieczeństwa na Morzu (MSC);
- Komitet Ochrony Środowiska Morskiego (MEPC);
- Komitet Prawny (LEG);
- Komitet Ułatwień (FAL) [33].

Realizację przez IMO nadrzędnego celu, tj. bezpieczeństwa żeglugi morskiej, zapewniają:

- inspekcja stanu technicznego i zarządzania bezpieczeństwem na statkach;
- bezpieczna obsada statków;
- kontrola obcych statków zawijających do polskich portów;
- certyfikacja i kontrola wyposażenia morskiego;
- monitorowanie ruchu statków;
- zapewnienie oznakowania nawigacyjnego, osłony hydrometeorologicznej i łączności na morzu.

Obecnie transport morski, który przewozi około 90% ładunków na całym świecie, nadal uważany jest za najszybszy, najtańszy sposób przemieszczania towarów i dostarczania ich do konsumentów na całym świecie [3]. Aby zapewnić, że żegluga morska jest bezpieczna, chroniona i przyjazna dla środowiska, pod auspicjami IMO przyjęto już ponad 50 traktatów i protokołów, które są uzupełniane setkami kodeksów technicznych oraz zaleceń⁷. Przedstawione na łamach tej publikacji stanowią niewielki, lecz istotny zakres obowiązujących konwencji, stojących na straży zarządzania bezpieczeństwem morskim.

Jak przedstawiono w powyższym rozdziale, od ponad 40 lat, na mocy międzynarodowych konwencji morskich IMO jest główną organizacją międzynarodową, właściwą w sprawach związanych z bezpieczeństwem żeglugi, w tym z piractwem morskim i inną bezprawną działalnością wymierzoną przeciwko bezpieczeństwu

⁷ W odniesieniu do bezpieczeństwa i ochrony przyjęto wiele kodeksów, które są obowiązkowe i stanowią część Konwencji SOLAS, np. Międzynarodowy kodeks zarządzania bezpieczeństwem (Kodeks ISM) (pierwotnie przyjęty rezolucją A.741(18), Międzynarodowy morski kodeks towarów niebezpiecznych (Kodeks IMDG) (pierwotnie przyjęty rezolucją MSC.122(75), Kodeks międzynarodowych standardów i zalecanych praktyk podczas badania w sprawie bezpieczeństwa morskiego dotyczącego wypadku lub incydentu morskiego (Kodeks badania wypadków) (przyjęty rezolucją MSC.255(84), czy też Międzynarodowy kodeks ochrony statku i obiektu portowego (Kodeks ISPS) (przyjęty na mocy poprawek do załącznika do Konwencji SOLAS w dniu 12 grudnia 2002 r.) [9].

żeglugi morskiej, z ochroną środowiska morskiego przed zanieczyszczeniem przez statki oraz odpowiedzialnością i odszkodowaniem za różne roszczenia morskie.

Za jedno z największych i najważniejszych osiągnięć współpracy międzynarodowej państw w kwestii bezpieczeństwa żeglugi morskiej uważa się powołanie Konwencji UNCLOS, która nie tylko kompleksowo reguluje ład oceanów i mórz, ale stworzyła system harmonijnego reżimu współistniejącego z ramami prawnymi innych organizacji międzynarodowych [9]. Konwencja UNCLOS jest również często używana jako „żywy traktat” z możliwością dostosowania się do nowych realiów oraz wymagań, np. tych narzuconych przez Fit for 55⁸. Dzieje się tak bardzo często dzięki temu, że jej cele i zadania realizują takie organizacje jak Międzynarodowa Organizacja Morska. Niewątpliwie harmonijna współpraca i koordynacja między IMO i UNCLOS będzie kontynuowana w przyszłości w celu zapewnienia i podnoszenia bezpieczeństwa morskiego [9].

3. TOWARZYSTWA KLASYFIKACYJNE – UZNANE ORGANIZACJE

Przepisy międzynarodowe, dotyczące zarządzania bezpieczeństwem żeglugi morskiej, oraz reguły ustanowione w zakresie zapobiegania wypadkom na morzu przez instytucje klasyfikacyjne, zwane towarzystwami klasyfikacyjnymi, są ściśle ze sobą powiązane. Międzynarodowe standardy bezpieczeństwa stworzone przez IMO są wprost przenoszone do przepisów klasyfikacyjnych towarzystw klasyfikacyjnych jako niezbędne w celu klasyfikowania statku, tj. wydania kompletu certyfikatów statku przez towarzystwo klasyfikacyjne.

Z poziomu operacyjnego efektywność implementacji przepisów międzynarodowych konwencji bezpieczeństwa żeglugi na morzu sprawują tzw. **Organizacje Uznane** (ang. *Recognized Organizations* „RO”). W sektorze morskim RO są to towarzystwa klasyfikacyjne (ang. *Classification Societies*), których nadrzędnym celem działalności jest zapewnienie klasyfikacji, certyfikacji ustawowej i usług jako Uznanej Organizacji (RO), działającej w imieniu administracji morskiej danego

⁸ Pakiet „Gotowi na 55” jest to zestaw wniosków ustawodawczych, mających zmienić i uaktualnić unijne przepisy oraz ustanowić nowe inicjatywy, tak by polityka UE była zgodna z celami klimatycznymi, ustalonymi przez Radę i Parlament Europejski. Pakiet ma stanowić spójne i wyważone ramy realizacji unijnych celów klimatycznych, zapewnić sprawiedliwy społecznie charakter transformacji, utrzymać i zwiększyć innowacyjność i konkurencyjność unijnego przemysłu, a równocześnie zagwarantować równość szans względem podmiotów gospodarczych z państw trzecich, umocnić pozycję UE jako lidera globalnej walki ze zmianą klimatu [19].

kraju – bandery, oraz pomoc przemysłowi morskemu i organom regulacyjnym w zakresie bezpieczeństwa morskiego i zapobiegania zanieczyszczeniom.

Towarzystwa klasyfikacyjne są to podmioty, które ustanawiają i stosują standardy techniczne, określające wymogi konstrukcyjne dla statków i urządzeń brzegowych oraz przeglądy [39]. Większość statków jest budowana i kontrolowana na podstawie przeglądów, które przeprowadzane są w zgodzie ze standardami ustanowionymi przez instytucje klasyfikacyjne. Sprawdzają one, a następnie potwierdzają stosownymi świadectwami, że statek wypełnia standardy międzynarodowe oraz krajowe, dotyczące szeroko pojętego bezpieczeństwa morskiego, zapobiegania zanieczyszczeniom, a także wypełnia ich własne standardy w zakresie konstrukcji, utrzymania i użytkowania statku.

Z historycznego punktu widzenia klasyfikacja statków przeprowadzana była wyłącznie do celów ubezpieczycieli lub czarterujących. Idea klasy statku została dalej rozwinięta przez ubezpieczycieli, a nadanie i utrzymywanie klasy stało się ich podstawowym wymogiem. Pierwsze instytucje klasyfikacyjne zostały powołane do życia przez ubezpieczycieli i to właśnie oni sprawowali nad nimi kontrolę. Z kolei ubezpieczyciele kontrolowani byli przez armatorów. Obecnie sytuacja się zmieniła i w większości wypadków są one zupełnie niezależnymi organizacjami, choć warto wspomnieć iż każde towarzystwo klasyfikacyjne ściśle współpracuje przy tworzeniu oraz cyklicznej rewizji przepisów klasyfikacyjnych z czołowymi armatorami, operującymi największym tonażem kontenerowców, tankowców czy statkami do przewozu ładunków sypkich.

Instytucje klasyfikacyjne są częścią międzynarodowego systemu bezpieczeństwa na morzu, realizując ten cel poprzez tworzenie przepisów klasyfikacyjnych, wymogów technicznych, cykliczne monitorowanie stanu technicznego statków i jednostek wydobywczych oraz wydawanie certyfikatów, potwierdzających zgodność ich stanu w wymogami. Należy podkreślić fakt, iż klasyfikacja statków jest bardzo ważnym elementem systemu zapewniania bezpieczeństwa morskiego, lecz nie mniej istotna jest rola armatorów eksploatujących jednostki, stoczni budujących i remontujących statki, administracji morskiej państwa bandery, pod którą jest zarejestrowany statek, ubezpieczycieli, czarterujących, a także instytucji finansujących budowę i eksploatację statków. W celu ujednolicenia zarządzania bezpieczeństwem żeglugi morskiej przez tak wielu interesariuszy przepisy klasyfikacyjne oraz wydawane przez towarzystwa klasyfikacyjne certyfikaty są zgodne z wytycznymi Międzynarodowego Stowarzyszenia Towarzystw Klasyfikacyjnych IACS (ang. *International Association of Classification Societies*), dotyczącymi ustanawiania zakresu inspekcji, tworzenia i rozwijania minimalnych wymagań

technicznych w odniesieniu do projektowania, budowy, konserwacji i przeglądu statków oraz innych obiektów morskich, w tym także morskich farm wiatrowych (ang. *Common Rules*).

Rysunek 1 przedstawia zarządzanie całościowym procesem klasyfikacji statków oraz jednostek z sektora wydobywczego przez towarzystwa klasyfikacyjne, będące obecnie (styczeń 2025) członkami Międzynarodowego Stowarzyszenia Towarzystw Klasyfikacyjnych IACS.



Rys. 1. Cykl klasyfikacji statków przyjęty przez towarzystwa klasyfikacyjne, będące członkami IACS

Źródło: [7].

W celu zapewnienia spójności przepisów klasyfikacyjnych towarzystwa klasyfikacyjne skupione są w Międzynarodowym Stowarzyszeniu Towarzystw Klasyfikacyjnych IACS (ang. *International Association of Classification Societies*) [34]. Towarzystwa klasyfikacyjne pomagają międzynarodowym organom regulacyjnym i organizacjom normalizacyjnym, takim jak IMO, w opracowywaniu, wdrażaniu i interpretowaniu przepisów ustawowych i norm branżowych w zakresie projektowania, budowy i eksploatacji statków oraz urządzeń przeznaczonych do eksploracji dna morskiego w celu poprawy bezpieczeństwa na morzu i ochrony środowiska morskiego.



Rys. 2. Główne towarzystwa klasyfikacyjne należące do IACS (styczeń 2025)

IACS jest organizacją pozarządową, utrzymującą pozycję konsultacyjną w IMO, poprzez aktywne zaangażowanie w prace, prowadzone przez Komitet Bezpieczeństwa Morskiego (MSC), Komitet Ochrony Środowiska Morskiego (MEPC), Komitet Prawny (LEG) wraz z innymi podmiotami doradczymi. W kluczowym obszarze działalności IACS, tj. zapewnieniu bezpieczeństwa żeglugi, w którym

następuje częsta rewizja wymogów prawnych (np. coroczna aktualizacja przepisów klasyfikacyjnych), członkowie IACS pełnią bardzo istotną rolę poprzez zapewnienie wykwalifikowanych inspektorów i inżynierów, którzy weryfikują i zatwierdzają dokumentację projektową, przeprowadzają inspekcje i audyty, wystawiając odpowiednie dokumenty, tj. certyfikaty klasowe [34].

Na świecie działa ponad 50 instytucji klasyfikacyjnych. Wśród największych z nich, należących do Międzynarodowego Stowarzyszenia Towarzystw Klasyfikacyjnych IACS (ang. *International Association of Classification Societies*) należy wymienić te, które na koniec 2024 roku miały w swojej klasie 81% światowej floty handlowej:

- Amerykańskie Towarzystwo Klasyfikacyjne – American Bureau of Shipping, ABS;
- Francuskie Towarzystwo Klasyfikacyjne – Bureau Veritas, BV;
- Chińskie Towarzystwo Klasyfikacyjne – China Classification Society, CCS;
- Chorwacki Rejestr Statków – Croatian Register of Shipping, CR;
- Norweskie Towarzystwo Klasyfikacyjne – Det Norske Veritas, DNV;
- Indyjski Rejestr Statków – Indian Register of Shipping, ISR;
- Koreański Rejestr Statków – Korean Register of Shipping, KR;
- Brytyjski Rejestr Statków – Lloyds Register, LR – najstarsze towarzystwo klasyfikacyjne, założone w 1885 roku jako pierwszy rejestr statków komercyjnych;
- Japoński Rejestr Statków – Nippon Kaiji Kyokai, Class NK;
- Polski Rejestr Statków – PRS;
- Włoskie Towarzystwo Klasyfikacyjne – Italian Naval Register, RINA [36].

Należy podkreślić istotny fakt zmniejszenia tonażu klasyfikacyjnego IACS od momentu inwazji na Ukrainę przez Federację Rosyjską, czego słuszną konsekwencją było usunięcie Rosyjskiego Rejestru Statków jako członka IACS. Konsekwencje tego wykluczenia mają bardzo negatywny wpływ na bezpieczeństwo żeglugi morskiej, także na akwenie Morza Bałtyckiego, gdzie od drugiej połowy 2024 roku zwiększyła się liczba niesklasyfikowanych rosyjskich tankowców tzw. floty cieni.

Stowarzyszenie IACS zostało utworzone w 1969 roku i po dziś dzień zgodnie ze swoją nadrzędną misją ustanawia klasę i dokonuje przeglądów 85% światowej floty handlowej oraz jednostek z morskiego sektora wydobywczego. IACS ma status obserwatora na forum IMO oraz możliwość opracowywania i stosowania reguł bezpieczeństwa.

Do głównych zadań IACS należą:

- promocja najwyższych standardów w zakresie bezpieczeństwa morskiego;

- zapobieganie zanieczyszczeniom na morzu;
- konsultacja i współpraca z IMO;
- ścisła współpraca z podmiotami zaangażowanymi w działalność morską oraz innymi organizacjami międzynarodowymi.

Przepisy klasyfikacyjne są opracowywane i uaktualniane przez pracowników towarzystw klasyfikacyjnych, tj. inżynierów oraz inspektorów działających w komitetach technicznych, na podstawie informacji eksploatacyjnych, dostarczonych przez armatorów oraz Międzynarodowe Stowarzyszenie Towarzystw Klasyfikacyjnych, a następnie zatwierdzane przez komitety, w których skład wchodzi m.in. projektanci oraz konstruktorzy statków, inżynierowie, konstruktorzy oraz producenci silników, napędów, maszyn i urządzeń okrętowych, producenci stali oraz inni pracownicy naukowcy z ośrodków badawczych, związanych ze światowym przemysłem morskim.

Instytucje klasyfikacyjne wykonują również wiele zadań, nałożonych na administrację flagi, zawartych we wspomnianej Konwencji MARPOL, która m.in. określa zasady dotyczące przeglądów, certyfikacji i środków kontroli i stanowi, że certyfikat o zapobieganiu zanieczyszczaniu powietrza może być wydany przez administrację albo przez osobę lub organizację należycie przez nią upoważnioną. W każdym jednak przypadku to administracja morska bandery, pod którą pływa statek, ponosi pełną odpowiedzialność za certyfikaty potwierdzające zgodność aktualnego stanu technicznego statku oraz zarządzania jego bezpieczną eksploatacją przez wyszkoloną załogę z wymaganiami konwencji IMO, takich jak SOLAS, MARPOL, COLREG czy innych. Towarzystwa klasyfikacyjne mogą dodatkowo wykonywać zadania administracji flagi na podstawie innych konwencji międzynarodowych.

W Polsce towarzystwa klasyfikacyjne, działające jako „**uznane organizacje**”, powołane są zgodnie z art. 8 ust.1 Ustawy o bezpieczeństwie morskim, gdzie minister właściwy do spraw gospodarki morskiej może w drodze decyzji upoważnić uznaną organizację do wykonywania zadań administracji morskiej. Jest nią „organizacja uznana przez Komisję Europejską, zgodnie z przepisami Unii Europejskiej, w zakresie wspólnych reguł i norm dotyczących organizacji dokonujących inspekcji i przeglądów statków, które pozyskały akredytację, tzn. uznanie zgodnie z normą PN-EN ISO/IEC 17065” [35].

W świetle obowiązującego prawa w Polsce na koniec 2024 roku uznane organizacje upoważnione do wykonywania zadań administracji morskiej na podstawie

art. 8 ust. 1 Ustawy z dnia 18 sierpnia 2011 r. o bezpieczeństwie morskim (DzU z 2023 r., poz. 1666, z późn. zm.) są to:

- Polski Rejestr Statków;
- DNV;
- Lloyd's Register;
- Rina;
- Bureau Veritas;
- ABS [35].

4. TOWARZYSTWA KLASYFIKACYJNE JAKO PODMIOTY DZIAŁAJĄCE W IMIENIU ADMINISTRACJI MORSKIEJ

Jak wspomniano wcześniej, wymogi mające na celu zapewnienie bezpieczeństwa oraz ochronę środowiska morskiego są określane w konwencjach międzynarodowych. Istnieje jednak możliwość, przewidziana w konwencjach IMO, by administracja morska państwa bandery, pod którą zarejestrowany jest statek, powierzyła przeprowadzanie inspekcji statutowych oraz przeglądów technicznych wyznaczonym w tym celu inspektorom flagi lub towarzystwom klasyfikacyjnym, które są autoryzowane przez administrację flagi do wykonywania inspekcji w ich imieniu [12]. Często przyczyną przekazania tych zadań jest fakt, iż administracja flagi danego państwa nie ma dostatecznej liczby inspektorów i audytorów, by przeprowadzać wymaganą liczbę przeglądów i inspekcji. Jednak należy podkreślić, że odpowiedzialność za wypełnianie przez statki międzynarodowych standardów konwencji nie jest przenoszona na towarzystwa klasyfikacyjne i wyłącznie państwo bandery pozostaje w tym zakresie odpowiedzialne. W przypadku, gdy administracja upoważnia uznaną organizację do przeprowadzania inspekcji statutowych i przeglądów, oznacza to również, że instytucja taka jest umocowana do żądania od armatora przeprowadzania niezbędnych napraw. W wypadku gdy statek nie jest zdolny do odbycia podróży bezpiecznej zarówno dla statku, jak i jego załogi lub pasażerów, upoważnione przez administrację flagi towarzystwo klasyfikacyjne niezwłocznie podejmuje stosowne działania zmierzające do poprawy tego stanu. Jeżeli działanie takie nie zostanie podjęte, certyfikat zostaje wycofany, a administracja flagi jest o tym fakcie informowana. Zważywszy na fakt rejestracji statków pod tzw. tanimi banderami oraz rosnącej liczby takich jednostek, operujących w krajach europejskich, w 1982 roku kraje Europy Zachodniej podpisały umowę,

zwaną Porozumieniem Paryskim lub Memorandum Paryskim, powołującą do istnienia Organizację Kontroli Portowej Statków PCS (ang. *Port State Control*).

Wracając do zagadnień działania towarzystw klasyfikacyjnych w imieniu administracji flagi, inspekcje oraz audyty wykonywane przez towarzystwo klasyfikacyjne (autoryzowane przez flagę) wykonywane są zawsze na podstawie zapewnienia przez administrację bandery, iż autoryzowane towarzystwo klasyfikacyjne spełnia minimalne kryteria oraz wymogi konwencji IMO dla uznanych organizacji. W ramach tej kontroli administracja bandery sprawdza możliwości techniczne, system zarządzania oraz kadrę inspektorów i audytorów. W celu określenia, czy zadania są prawidłowo wykonywane przez towarzystwo klasyfikacyjne, administracja flagi ustanawia procedury dotyczące raportowania odbytych inspekcji na statkach zarejestrowanych pod daną banderą. Dodatkowo towarzystwa klasyfikacyjne, które są członkami IACS, są kontrolowane przez to stowarzyszenie. Kontrola ta obejmuje wszystkie usługi związane z klasyfikacją statków oraz wydawaniem certyfikatów. Oceny jakości usług dokonuje się przez pryzmat standardów IMO i ISO. Audyt instytucji klasyfikacyjnych przeprowadzany jest co 3 lata.

W celu określenia, czy towarzystwo klasyfikacyjne wypełnia obowiązki zgodnie z międzynarodowymi wymogami, stowarzyszenie IACS ustanowiło specjalny system, mający pomóc w takiej ocenie – Jakościowy System Certyfikacji QSCS (ang. *Quality System Certification Scheme*). Towarzystwo, które nie wypełnia międzynarodowych wymogów, może być zawieszone w prawach i obowiązkach członka stowarzyszenia lub też całkowicie z niego usunięte.

5. ADMINISTRACJA MORSKA PAŃSTWA – BANDERA REJESTRACYJNA STATKU

Za bezpieczeństwo na morzu w pierwszym rzędzie odpowiada państwo bandery, czyli administracja rządowa flagi, pod którą pływa (jest zarejestrowany) dany statek lub jednostka przeznaczona do eksploracji zasobów mineralnych z dna morskiego. Rola państwa bandery (flagi), potocznie zwanego „banderą”, została opisana w Konwencji Narodów Zjednoczonych o prawie morza (Konwencja jamajska) UNCLOS (ang. *United Nations Convention on the Law of the Sea*)⁹,

⁹ Konwencja Narodów Zjednoczonych o prawie morza UNCLOS (*United Nations Convention on the Law of the Sea*), określana jako „konstytucja mórz i oceanów”, ustanowiła reżim prawny mórz i oceanów. Zgodnie z Konwencją o prawie morza, Międzynarodowa Organizacja Morska (IMO) posiada mandat jako globalny podmiot do regulowania spraw

podpisanej w 1982 roku. Obowiązek ten wynika z art. 94 tej konwencji, który mówi, iż państwo sprawuje stałą kontrolę nad statkami podnoszącymi jego banderę. Art. 94 tejże konwencji ma zastosowanie na morzu otwartym i w Wyłącznej Strefie Ekonomicznej. Zgodnie z jego zapisami państwo bandery jest zobowiązane do podjęcia środków wobec statków podnoszących jego banderę, jakie okażą się niezbędne do zapewnienia bezpieczeństwa na morzu, biorąc pod uwagę w szczególności konstrukcję, wyposażenie oraz zdolność statku do żeglugi.

Niezwyczajnie ważnym zadaniem państwa bandery jest także zapewnienie warunków pracy na statku oraz wyszkolenia załogi zgodnie z umowami międzynarodowymi Konwencji STCW oraz Międzynarodowej konwencji o prawie pracy na morzu z 2006 roku (ang. *Maritime Labour Convention*).

Państwo bandery powinno dbać o należytą i bezpieczną eksploatację statków, używanie odpowiednich sygnałów i oznaczeń nawigacyjnych, utrzymanie łączności oraz zapobieganie zderzeniom na morzu poprzez wprowadzenie w życie standardów, ustanowionych w międzynarodowych konwencjach morskich, takich jak SOLAS, MARPOL, COLREG czy LOAD Line. Ten obowiązek sprowadza się nie tylko do inkorporowania przepisów konwencji do wewnętrznego porządku prawnego. W celu jego wypełnienia państwo bandery powinno posiadać również środki odpowiednie do wprowadzenia w życie postanowień konwencji, a także odpowiednio wyszkolonych inspektorów, którzy kontrolowaliby spełnianie wymogów. Państwo bandery sprawuje też jurysdykcję nad statkami zarejestrowanymi pod jego banderą, w szczególności, jeżeli chodzi o konstrukcję, wyposażenie, zdolność

morskich na podstawie wielu jej postanowień. IMO jest wymieniona *expressis verbis* tylko w jednym z artykułów UNCLOS, natomiast kilka postanowień Konwencji o prawie morza odnosi się do „właściwej organizacji międzynarodowej” w związku z przyjęciem międzynarodowych zasad i standardów żeglugi morskiej w sprawach dotyczących bezpieczeństwa morskiego oraz zapobiegania, zmniejszania i kontroli zanieczyszczania mórz przez statki. Mając na uwadze mandat IMO jako wyspecjalizowanej agendy, działającej w ramach systemu Narodów Zjednoczonych, ustanowionej Konwencją o międzynarodowej organizacji morskiej, wyrażenie „właściwa organizacja międzynarodowa”, gdy jest używane w liczbie pojedynczej w UNCLOS, dotyczy IMO. Niekwestionowaną zgodność umów międzynarodowych IMO z prawem morza zapewnia Konwencja o prawie morza, która wprowadziła ramy prawne dla mórz i oceanów. Prawa i obowiązki skodyfikowane w UNCLOS mogą być określone, wdrożone i egzekwowane wyłącznie za pośrednictwem innych systemów konwencyjnych IMO (np. SOLAS, MARPOL). W związku z tym UNCLOS nakłada na państwa obowiązek „uwzględnienia”, „zgodności”, „wprowadzenia w życie” lub „wdrożenia” odpowiednich międzynarodowych zasad i norm, opracowanych przez „właściwą organizację międzynarodową” lub za jej pośrednictwem. Te „zasady i standardy” powinny być „uzgodnione na szczeblu międzynarodowym” i „ogólnie przyjęte” [5].

do żeglugi, zarządzanie statkami, zapobieganie zderzeniom na morzu, jak również warunki pracy oraz wyszkolenia załogi.

Odpowiedzialność za zapewnienie wypełnienia międzynarodowych standardów nie może być delegowana, jednakże w większości wypadków państwo bandery może i przekazuje wykonywanie tych obowiązków towarzystwom klasyfikacyjnym, opisanym w podrozdziale 3. Przed zarejestrowaniem statku, a także potem, w odpowiednich odstępach czasu, państwo bandery jest zobowiązane do dokonywania inspekcji statku poprzez przeszkolonych inspektorów morskich flagi lub autoryzowanych w tym celu inspektorów oraz audytorów towarzystwa klasyfikacyjnego, będącego członkiem IACS.

Podstawowym aktem prawnym w Polsce, regulującym bezpieczeństwo żeglugi, jest Ustawa z dnia 18 sierpnia 2011 r. o bezpieczeństwie morskim (DzU z 2016 r., poz. 281). Ustawa ta mówi o obowiązku certyfikacji przez Uznane Organizacje morskich farm wiatrowych. Od momentu, kiedy to w 1885 roku powstał pierwszy rejestr statków, jednym z głównych założeń, oprócz monitorowania rynku przewożonych ładunków, była kontrola statków operujących w europejskich krajach żeglugowych w aspekcie bezpieczeństwa żeglugi [4], ale także zapewnienie budowy statków w lokalnym kraju oraz załóg przeważnie z tego kraju [11]. Dziś te wymagania nazwano by wymaganiami „*local content*”, dążącymi do zwiększania udziału lokalnych dostawców materiałów i usług oraz zabezpieczenia rynku pracowników lokalnych.

Od samego początku istotną rolę rejestracji statków była kwestia związana z ich własnością oraz sprzedażą czy zakupem nowej jednostki przez kolejnego właściciela – armatora. Dokumentacja rejestracyjna jednostki dostarcza dowody „obywatelstwa” dla celów międzynarodowych, a tym samym zapewnia możliwości finansowania jednostki poprzez zaciąganie kredytów przeznaczonych na budowę jednostki. Rejestracja statku jest to proces, w którym dla każdego statku wydawany jest certyfikat rejestracyjny (*Certificate of Registry*), który nadaje jednostce obywatelstwo kraju, w którym został zarejestrowany.

Prawo międzynarodowe wymaga, aby każdy statek był zarejestrowany w kraju, zwanym państwem bandery [16]. Statek podlega prawu państwa bandery [4]. Zwykle mówi się, że statek pływa pod banderą kraju rejestracji. Obecnie każdy statek handlowy, pływający zarówno na akwenach międzynarodowych, jak i lokalnych, powinien być zarejestrowany pod banderą wybranego kraju. Niektóre jurysdykcje (zwane potocznie flagą) wymagają również, aby statki, które działają wyłącznie na wodach terytorialnych, rejestrowały się w rejestrze krajowym, a niektóre zabraniają statkom pływającym pod obcą banderą handlu między portami

w kraju (praktyka znana jako kabotaż). Kraj rejestracji jest państwem bandery statku i określa jego obywatelstwo, a także przepisy kraju, które regulują jego działalność i zachowanie załogi [4]. Kraj określa wymogi prawne dotyczące rejestracji statku w swoich przepisach krajowych.

Każdy rejestr państwowy (administracja flagi) ma własne zasady i przepisy dotyczące typów statków, ich tonażu i wieku, które powinny być spełnione, aby jednostka mogła być zarejestrowana pod tzw. banderą danego kraju. Wymogi rejestracyjne w zakresie budowy i bezpieczeństwa żeglugi jednostki, jej obecnego stanu technicznego, sprawdzane są przez dedykowanych inspektorów flagi oraz towarzystwa klasyfikacyjne, które po uzyskaniu autoryzacji flagi przeprowadzają cykliczne inspekcje w jej imieniu [11]. Przykładowo rejestr liberyjski rejestruje statki pełnomorskie o pojemności ponad 500 ton netto, które prowadzą handel zagraniczny.

Państwo bandery statku sprawuje kontrolę regulacyjną nad statkiem i jest zobowiązane do regularnego jego sprawdzania w zakresie bezpieczeństwa żeglugi, ludzi oraz ochrony środowiska morskiego i zapobiegania zanieczyszczeniom poprzez certyfikowanie oraz wydawanie dokumentów dotyczących bezpieczeństwa. Rejestry są agencjami rządowymi, które autoryzują stronę trzecią, tj. towarzystwa klasyfikacyjne, do administrowania procesem inspekcji i certyfikacji jednostek w imieniu administracji morskiej (bandery), pod którą dana jednostka pływa. Wart zaznaczenia jest fakt, że istnieje wiele rejestrów państw, które geograficznie nie mają dostępu do morza, ale posiadają swoją banderę, czyli flotę statków, np. flaga czeska czy austriacka.

Rejestry statków, które są otwarte tylko dla statków z własnego kraju, są znane jako rejestry tradycyjne lub krajowe. Rejestry dostępne dla statków, będących własnością zagraniczną, nazywane są rejestrami otwartymi, a zwyczajowo określane mianem tanich bander (ang. *Flag of convenience*).

6. PROBLEM TANICH BANDER I WPŁYW NA BEZPIECZEŃSTWO ŻEGLUGI MORSKIEJ

Każdy statek handlowy powinien być zarejestrowany na mocy prawa międzynarodowego w rejestrze utworzonym przez daną administrację państwową, co sprawia, iż taki statek podlega przepisom oraz prawom kraju rejestru, jak i międzynarodowego prawa morskiego [4]. Właściciele statków, armatorzy, mogą zdecydować się na zarejestrowanie pojedynczego statku lub całej floty operowanych

jednostek w obcym kraju, aby uniknąć przepisów kraju właścicieli, które mogą np. mieć bardziej rygorystyczne normy bezpieczeństwa. Mogą również wybrać inną (mniej wymagającą, często tańszą) jurysdykcję w celu obniżenia kosztów operacyjnych, unikając wyższych podatków w kraju właścicielskim i w ten sposób omijać przepisy chroniące płace i warunki pracy marynarzy [13]. Obecnie kwestie podatkowe oraz opłat stanowią jeden z głównych powodów rejestracji statków oraz jednostek z morskiego sektora wydobywczego pod obcą banderą. Przykładowo Panama oferuje takie korzyści, jak łatwiejsza rejestracja (często *online*), możliwość zatrudnienia tańszej siły roboczej z zagranicy i zwolnienie z podatku dochodowego. Wymogi bezpieczeństwa żeglugi, dotyczące życia ludzkiego czy eksploatacji statku, są obecnie regulowane przez ujednolicone wymagania Konwencji IMO, dla każdej z administracji państwowych, która powinna je w pełni egzekwować.

„Tania bandera” jest to praktyka biznesowa, w której ramach właściciele statków rejestrują statek handlowy w rejestrze statków innego kraju niż kraj właścicieli statków, a statek pływa pod banderą cywilną tego kraju, zwanego państwem bandery [13]. Termin ten często ma znaczenie pejoratywne i chociaż jest powszechny, praktyka ta jest czasami uważana za kontrowersyjną.

Nowoczesna praktyka rejestrowania statków w obcym kraju rozpoczęła się w latach 20. XX wieku w Stanach Zjednoczonych, kiedy właściciele statków, którzy chcieli serwować pasażerom alkohol w czasie prohibicji, rejestrowali swoje statki w Panamie. Wkrótce zaczęli oni dostrzegać korzyści w postaci uniknięcia zwiększonych regulacji i rosnących kosztów pracy i nawet po zakończeniu prohibicji nadal rejestrowali swoje statki w Panamie. Korzystanie z otwartych rejestrów stale rosło, a w 1968 roku Liberia prześcignęła Zjednoczone Królestwo, mając największy na świecie rejestr statków [1].

Termin „tania bandera” lub rzadziej „bandera wygodna” jest używany od lat 50. XX wieku. Od samego początku bandery te były krytykowane, głównie przez organizacje związkowe z siedzibą w krajach rozwiniętych, zwłaszcza w Unii Europejskiej, Stanach Zjednoczonych, Japonii, Kanadzie lub Wielkiej Brytanii. Jednym z zarzutów był i wciąż jest fakt, iż właściciele statków, którzy chcą ukryć swoją własność, mogą wybrać jurysdykcję taniej bandery, która umożliwia im zachowanie prawnej anonimowości, co jest istotne w świetle opłat np. portowych, uzależnionych od tonażu jednostki. Przed wdrożeniem Międzynarodowej konwencji o pomiarze tonażu statków z 1969 roku, właściciele statków mogli wybrać jurysdykcję z przepisami pomiarowymi, które zmniejszały certyfikowany rejestrowy tonaż brutto statku, aby celowo zmniejszyć późniejsze opłaty portowe [3].

Wśród armatorów statków jest jednak wielu zwolenników tej praktyki, wskazujących na korzyści ekonomiczne, regulacyjne, a także na większą swobodę przy wyborze pracowników z międzynarodowej puli marynarzy. Armatorzy z krajów rozwiniętych wykorzystują tę praktykę, aby być konkurencyjnymi w globalnym rynku logistyki morskiej [1]. Narody morskie odpowiedziały na tę praktykę, tworząc tzw. drugie rejestry – otwarte rejestry, wykorzystujące flagi narodowe lub flagi półsuwerennych terytoriów zależnych od morza [13]. Proces ten rozpoczął się w 1984 roku wraz z utworzeniem rejestru Wyspy Man jako drugiego rejestru w Wielkiej Brytanii. Niedługo potem Norwegia i Holandia poszły w ślady tej praktyki, przyjmując odpowiednio Antyle Holenderskie i Norweski Międzynarodowy Rejestr Statków (NIS). Francja utworzyła w 1989 roku Rejestr Wysp Kerguelena, zastąpiony Międzynarodowym Rejestrem Francuskim RIF (*Registre International Français*) w 2005 roku [36]), a Niemcy (Republika Federalna) utworzyły Niemiecki Międzynarodowy Rejestr (GIS) w tym samym roku. Dwa ostatnie rejestry są nadal (2024 r.) uważane za Tanie Bandery FOC-s [2].

Z danych opublikowanych przez ITF na koniec 2024 roku ponad połowa światowych statków handlowych pod względem nośności jest zarejestrowana w otwartych rejestrach lub tzw. tanich banderach [15].

Odpowiedzią na rosnącą liczbę statków rejestrowanych pod „tanymi banderami” od końca lat 70. poprzedniego stulecia, jak i na coraz więcej przypadków jednostek zawijających do portów Europy Zachodniej niespełniających standardów Konwencji IMO,

było powołanie w 1982 roku na mocy Porozumienia Paryskiego **Inspektoratu Państwa Portu**¹⁰ (ang. *Port State Control*) w celu osiągnięcia największej



¹⁰ Inspektorat Państwa Portu (PSC). Zgodnie ze strategią PAM – Polskiej Administracji Morskiej, Polska wspólnie z innymi państwami – członkami Porozumienia Paryskiego chroni obszary morskie przed zagrożeniami, wynikającymi z uprawiania żeglugi przez statki substandardowe. Rolę ostrzegawczą i jednocześnie ochronną w tym zakresie wykonuje inspekcja portu (PSC) w ramach Porozumienia Paryskiego (PMoU). Zadania w tym zakresie inspekcja państwa portu PSC wykonuje zgodnie z procedurami opracowanymi przez Porozumienie Paryskie na podstawie rezolucji IMO A.787(19) (z późn. zm.) oraz Dyrektywy

skuteczności w weryfikowaniu obcych statków (także tanich bander), które nie przestrzegają wymogów międzynarodowych standardów bezpieczeństwa eksploatacji i żeglugi. Głównym celem PCS jest eliminowanie statków oraz jednostek z sektora wydobywczego, stanowiących realne zagrożenie, poprzez przeprowadzanie bardzo wnikliwych inspekcji pod kątem bezpieczeństwa jednostki, jej stanu technicznego, kompetencji załogi, w tym kluczowych oficerów pokładowych, mechaników z kapitanem, a także pierwszym mechanikiem na czele. Sprawdzane są wymogi większości kluczowych konwencji IMO, takich jak wspomniane już SOLAS, MARPOL, MLC czy STCW.

7. CERTYFIKACJA MORSKICH FARM WIATROWYCH ZLOKALIZOWANYCH W POLSKIEJ WYŁĄCZNEJ STREFIE EKONOMICZNEJ

Nadrzędnym dokumentem legislacyjnym, stanowiącym podstawę tworzenia otoczenia prawnego dla morskiej energetyki wiatrowej w Polsce, jest opublikowana 29 lipca 2022 roku nowelizacja Ustawy o bezpieczeństwie morskim oraz o obszarach morskich Rzeczypospolitej Polskiej i administracji morskiej (DzU z 2022 r., poz. 1604). Dokument ten w bezpośredni sposób adresuje kwestie związane z bezpieczeństwem budowy, eksploatacji morskich farm wiatrowych na Morzu Bałtyckim, jak i żeglugi morskiej na akwenach wyznaczonych jako morskie farmy wiatrowe.

Nadzór nad bezpieczeństwem żeglugi spoczywa na uznanych organizacjach, które jako wyspecjalizowane podmioty, posiadające odpowiednie zasoby i doświadczenie, certyfikować będą cały cykl życia projektu morskiej farmy

unijnej 2009/16/WE. Celem zapewnienia bezpieczeństwa żeglugi na obszarze terytorialnym Administracji Morskiej RP przez statki obcych bander, zawijające do polskich portów, Inspektorat Państwa Portu (PSC) realizuje poniższe działania: monitorowanie ruchu statków i wyznaczanie (alokacja) statków do inspekcji, inspekcje statków obcych bander o priorytecie PI + PII w portach polskich, stała kontrola wypełnienia zobowiązań inspekcyjnych w Systemie Informacyjnym THETIS (*Overview Situation*), przeprowadzenie 100% inspekcji o priorytecie PI i przeprowadzenie co najmniej 85% inspekcji o priorytecie PII w przypadku, gdy łączna liczba zawinięć statków do polskich portów jest mniejsza niż *Regional Commitment*. Szczegółowy zakres zadań Inspektoratu Państwa Portu (PSC) określa § 50 Zarządzenia Wewnętrznego nr 24 Dyrektora Urzędu Morskiego w Gdyni z dnia 20 kwietnia 2020 r. w sprawie ustalenia Regulaminu Organizacyjnego Urzędu Morskiego w Gdyni. Do zakresu działania Inspektoratu należy realizacja oraz wdrażanie postanowień i zaleceń Porozumienia Paryskiego (MoU) oraz dyrektyw Unii Europejskiej w sprawie kontroli państwa portu, wykorzystanie Systemu Informacyjnego THETIS [26].

wiatrowej, poczynając od etapu projektowania, instalacji na morzu do etapu eksploatacji. Proces certyfikacji obejmuje potwierdzenie zgodności działań podejmowanych przez wytwórców energii elektrycznej i wybranych do realizacji poszczególnych etapów inwestycji ich podwykonawców z wymogami, wynikającymi z polskiego systemu prawa, jak i ze standardów branżowych (konwencji morskich) i obowiązujących technicznych norm jakościowych.

- Pierwszy z certyfikatów „zgodności projektowej” potwierdzi zgodność projektu budowlanego z normami technicznymi określającymi wymagania, jakie powinna spełnić morska farma wiatrowa wraz z zespołem urządzeń elektrycznych. Certyfikat ten będzie wydawany bezterminowo.
- Drugi z certyfikatów będzie potwierdzał dopuszczanie morskiej farmy wiatrowej do eksploatacji, tzn. potwierdzi zgodność procesu budowy z zatwierdzonym projektem budowlanym oraz certyfikatem zgodności projektowej. Ten dokument będzie wydawany z okresem ważności nie dłuższym niż pięć lat.
- Trzeci jest to certyfikat bezpieczeństwa eksploatacji, który potwierdzi kompletność oraz poprawność dokumentacji w zakresie należytego utrzymania i serwisowania morskiej farmy wiatrowej wraz z zespołem urządzeń do przesyłu energii do Krajowego Systemu Energetycznego. Ten certyfikat będzie wydawany na 5 lat i będzie podlegał corocznemu odnowieniu po zakończeniu inspekcji technicznej, zgodnie z wytycznymi towarzystwa klasyfikacyjnego, które będzie certyfikowało morską farmę wiatrową [17].

Należy zwrócić uwagę na fakt, iż w obecnym reżimie prawnym, w kwestii upoważnienia organizacji uznanej do wydawania certyfikatów, Ustawodawca będzie nie tylko weryfikował kompetencje danej uznanej organizacji certyfikującej i nadzorującej, ale wprowadzi także dodatkowy wymóg uzyskania przez uznaną organizację upoważnienia do wydawania przedmiotowych certyfikatów. Upoważnienie to wydawane jest przez Ministra właściwego do spraw gospodarki morskiej w drodze decyzji administracyjnej. Jest to proces akredytacji, który może trwać do 12 miesięcy.

Ustawa określa również elementy wniosku o wszczęcie postępowania administracyjnego w tej sprawie, nakładając na uznaną organizację m.in. obowiązek stworzenia zbioru przepisów tej organizacji warunkujących wydanie certyfikatu, a także procedur nadzorczych. Są to przepisy klasyfikacyjne oraz procedury (ang. *Class Rules and Guidelines*).

PODSUMOWANIE

Historia oraz rozwój międzynarodowych konwencji i prawa morskiego odzwierciedlają zmieniające się wyzwania, związane z wykorzystaniem mórz i jego zasobów na przestrzeni wieków. Od czasów starożytnych, kiedy to państwa basenu Morza Śródziemnego, takie jak Egipt, Fenicja, Grecja i Rzym tworzyły pierwsze kodeksy regulujące handel i żeglugę morską (Kodeks Fenicki, Prawo Rodyjskie, Prawo Rzymskie) po ówczesne międzynarodowe konwencje morskie, obserwuje się rozwój prawa morskiego w zakresie podnoszenia bezpieczeństwa żeglugi. Współczesne wyzwania w kontekście zarządzania bezpieczeństwem morskim, takie jak ochrona środowiska, nadmierna eksploatacja zasobów naturalnych czy wciąż istniejące w XXI wieku piractwo, wymagają od państw współpracy na poziomie międzynarodowym, któremu towarzyszy ciągły rozwój przepisów prawnych, regulujących te kwestie.

Wraz z dynamicznym rozwojem po II wojnie światowej gospodarek wielu krajów, a tym samym wzrostem znaczenia globalnego handlu morskiego, powstała potrzeba ujednolicenia i unowocześnienia prawa morskiego. Właściwe zatem było podjęcie działań przez Organizację Narodów Zjednoczonych w celu stworzenia międzynarodowych przepisów prawnych, które ujednoliciłyby szereg lokalnych wymagań w zakresie bezpieczeństwa żeglugi, ochrony życia na morzu oraz ochrony środowiska morskiego.

Ważnymi krokami przy realizacji tego celu było powołanie do życia morskich konwencji międzynarodowych, z których znacząca większość powstała na przełomie XIX i XX wieku, jak choćby Konwencja o prawie morza (UNCLOS), która po wielu latach negocjacji została przyjęta przez Organizację Narodów Zjednoczonych w 1982 roku. Stanowi ona po dziś dzień ważny fundament współczesnego prawa morskiego, regulując zasady zarządzania bezpieczeństwem morskim w zakresie zagadnień, dotyczących granic wód terytorialnych, wyłącznej strefy ekonomicznej, wolności żeglugi, ochrony środowiska morskiego oraz zasad rozstrzygania sporów między państwami.

W kontekście regulacji żeglugi UNCLOS precyzyjnie określa prawa i obowiązki państw, dotyczące swobodnego przejścia przez międzynarodowe cieśniny, co stanowi istotny aspekt dla bezpieczeństwa żeglugi. Konwencja ta również ustala zasady związane z budową i eksploatacją szlaków żeglugowych, zapewniając równy dostęp do nich dla wszystkich krajów uczestniczących [30]. Jest to jedna z wielu konwencji IMO, która jako instrument prawny ONZ nie tylko ustanawia prawa i regulacje, ale także promuje współpracę i zrozumienie między krajami

członkowskimi. Jednocześnie warto podkreślić fakt, iż zapisy prawne konwencji morskich są wciąż uaktualniane, aby w jak najbardziej efektywny sposób adresowały obecne wyzwania związane z globalizacją handlu morskiego, coraz to bardziej rygorystyczną ochroną środowiska oraz rosnącą eksploatacją zasobów morskich.

Kluczowe problemy i rosnące zagrożenia żeglugi morskiej, takie jak choćby ataki terrorystyczne na infrastrukturę przesyłową, zlokalizowaną w dnie morskim, wymagają ciągłego dostosowywania przepisów do realiów bezpieczeństwa sektora morskiego także w zakresie cyberbezpieczeństwa. Tu jednak ważny podkreślenia jest fakt, że o ile kwestie nowych, bardziej restrykcyjnych wymagań prawnych oraz ujednolicenie standardów technicznych są procesami dość efektywnie zarządzanymi na poziomie międzynarodowej współpracy państw członkowskich IMO, o tyle okres wejścia w życie nowych przepisów prawnych oraz ich implementacji wciąż pozostaje bardzo długi, co znacząco może wpływać na bezpieczeństwo morskie. Okres ten wynika z przyjętego procesu ratyfikacji konwencji i propozycji zmian, które powinny być w pierwszej kolejności zaakceptowane, a następnie ratyfikowane przez większość państw członkowskich. Niestety, także w XX i XXI wieku to właśnie historia tragedii morskich wskazuje, iż jest to jeden z głównych momentów, kiedy nowelizacji ulegają konwencje morskie stojące na straży bezpieczeństwa.

Inną bardzo istotną kwestią w zarządzaniu bezpieczeństwem w sektorze morskim jest wciąż współczesne piractwo, zwłaszcza w regionach takich jak Róg Afryki czy Zatoka Gwinejska, co stanowi poważne zagrożenie dla żeglugi oraz życia marynarzy. Międzynarodowe organizacje, takie jak IMO i ONZ, współpracują, aby stworzyć skuteczne ramy prawne do zwalczania tego problemu. Jak pokazuje IMO w cyklicznie publikowanych raportach, problem ten jest wciąż bardzo aktualny i tylko w miesiącu grudniu 2024 roku odnotowano aż 23 (oficjalnie zgłoszone) ataki pirackie na morzach międzynarodowych [24, 27].

Inną ważną kwestią w aspekcie zarządzania bezpieczeństwem żeglugi morskiej pozostaje eksploatacja dna morskiego, gdzie z jednej strony rozwój technologii pozwala na coraz bardziej intensywną eksploatację dna morskiego na większych głębokościach, a z drugiej strony rodzi wiele pytań odnośnie do podziału tych zasobów między państwami oraz ochrony ekosystemów.

W celu zapewnienia skutecznego oraz kompleksowego zarządzania bezpieczeństwem żeglugi morskiej, przy jednoczesnym wykorzystaniu pełnego potencjału morskiej gospodarki, akweny morskie powinny być eksploatowane w jak najbardziej bezpieczny oraz zrównoważony sposób. Czy zatem poprzez wprowadzanie regulacji prawnych, zapisów międzynarodowych konwencji i wymogów technicznych dla statków i jednostek wydobywczych, wyszkolenia załóg można całkowicie

wyeliminować katastrofy morskie? Nie, zapewne nie, jednakże ponad wszelką wątpliwość integracja działań międzynarodowych organizacji morskich, służby administracji morskiej, towarzystw klasyfikacyjnych oraz armatorów statków i operatorów portów i terminali stanowi najbardziej efektywny sposób zarządzania szeregami znanych i nieznanych ryzyk oraz ich mitygacji.

Realizując strategiczne cele bezpieczeństwa żeglugi, organizacje międzynarodowe, w tym IMO, ONZ, Unia Europejska, podejmują wspólne działania, mające na celu opracowywanie oraz ciągłą aktualizację kompleksowych ram polityk bezpieczeństwa żeglugi oraz wymogów technicznych dla jednostek morskich. Jak wskazano w publikacji, działania te podejmowane i realizowane są także wspólnie przez towarzystwa klasyfikacyjne, administrację morską państw bandery, jak również armatorów i operatorów portów oraz terminali.

BIBLIOGRAFIA

1. Boczek B.A., *Flags of Convenience: An International Legal Study*, Harvard University Press, Boston 1962.
2. *Current Registries Listed as FOCs*, ITF Seafarers, International Transport Workers' Federation, Londyn, lipiec 2024.
3. Efthimios E. Mitropoulos, *Circular Letter No.3091*, International Maritime Organization, Londyn, lipiec 2010.
4. *Guide to Ship Registration – Maritime New Zealand*, 2010.
5. Harrison J., *Saving the Oceans through Law. The International Legal Framework for the Protection of the Marine Environment*, Oxford 2017.
6. *History of the White Star Line Trio: Olympic, Titanic and Britannic*, 2012.
7. IACS, *Our Vision & Mission*, Shipping Safety & Decarbonization, 2024.
8. Klein N., *Meaning, Scope, and Significance of Informal Lawmaking in the Law of the Sea*, [w:] *Unconventional Lawmaking in the Law of the Sea*, Oxford University Press, 2022.
9. Lost-Siemińska D., *Konwencja Narodów Zjednoczonych o prawie morza i Międzynarodowa Organizacja Morska – 40 lat harmonijnego współistnienia*, Prawo Morskie, 2022, t. XLIII.
10. Lost-Siemińska D., *Reforma Międzynarodowej Organizacji Morskiej*, Gdańskie Studia Prawnicze, 2022, nr 3.
11. *Registration of Merchant Ships*, The National Archives, Richmond, UK, 2023.

12. Rossa-Kilian D., *Międzynarodowe Organizacje Morskie i Oceaniczne*, Wydawnictwo Adam Marszałek, Toruń 2008.
13. *Second Register – Maritime Nations Response to Flag of Convenience –1984–1999*.
14. *The Mystery of Titanic's Central Propeller*, Biblioteka Britannica, Londyn 2012.
15. UNCTAD, *Handbook of Statistics 2024*.
16. *U.S. Coast Guard Alternative Compliance Program*, United States Coast Guard, Waszyngton 2010.
17. Ustawa o bezpieczeństwie morskim oraz o obszarach morskich Rzeczypospolitej Polskiej i administracji morskiej, DzU z 2022 r., poz. 1604.

Źródła internetowe

18. GMDSS, https://en.wikipedia.org/wiki/Global_Maritime_Distress_and_Safety_System, styczeń 2025.
19. *Gotowi na Fit for 55*, <https://www.consilium.europa.eu/pl/policies/fit-for-55/>.
20. <https://bbats.pl/isps-miedzynarodowy-kodeks-ochrony-statku-i-obiektu-portowego/>, styczeń 2025.
21. [https://pl.wikipedia.org/wiki/Estonia_\(prom\)](https://pl.wikipedia.org/wiki/Estonia_(prom)).
22. <https://www.imo.org/en/About/Strategy/Pages/Default.aspx>.
23. <https://www.imo.org/en/KnowledgeCentre/Pages/Default.aspx>, styczeń 2025.
24. <https://www.imo.org/en/OurWork/Security/Pages/Piracy-Reports-Default.aspx>.
25. <https://www.rp.pl/ekonomia/art15738421-zbrodnia-i-kara-exxona>.
26. <https://www.umgdy.gov.pl/bezpieczenstwo-morskie/psc/>.
27. IMO, *Raport ataków pirackich*, grudzień 2024, <https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/OurWork/Security/Documents/Piracy%20monthly%20report%20December%202024.pdf>.
28. *Katastrofy morskie*, <https://fajnepodroze.pl/katastrofy-morskie/>.
29. Konwencja UNCLOS, <https://sip.lex.pl/akty-prawne/dzu-dziennik-ustaw/konwencja-narodow-zjednoczonych-o-prawie-morza-montego-bay-1982-12-10-16959103>, styczeń 2025.
30. Konwencja UNCLOS, https://www.un.org/depts/los/convention_agreements/texts/unclos/unclos_e.pdf, styczeń 2025.
31. *Legenda Titanica: wrzesień 2012*, www.legendtitanic.blogspot.de.
32. Międzynarodowa Organizacja Morska, www.imo.org 2024.
33. Międzynarodowa Organizacja Morska, 2024, <https://www.imo.org/en/publications/Pages/Home.aspx>.

34. Międzynarodowe Stowarzyszenie Towarzystw Klasyfikacyjnych, 2024, <https://iacs.org.uk/>.
35. Ministerstwo Infrastruktury, *Uznane organizacje*, 2024 <https://www.gov.pl/web/infrastruktura/uznane-organizacje1>.
36. *Obecni członkowie IACS*, <https://iacs.org.uk/membership/iacs-members>.
37. *Search and Rescue*, 2025, <http://www.imo.org/Safety/maintenance.asp?topic>.
38. *Titanic*, https://pl.wikipedia.org/wiki/RMS_Titanic.
39. *Towarzystwo klasyfikacyjne*, https://pl.wikipedia.org/wiki/Towarzystwo_klasyfikacyjne, styczeń 2025.

ZAŁĄCZNIK – KONWENCJE I KODEKSY IMO

IMO przygotowało następujące konwencje i kodeksy.

1. Konwencje:

Międzynarodowa konwencja o bezpieczeństwie życia na morzu z 1974 roku (SOLAS 1974) wraz z Protokołami z 1978 i 1988 roku i późniejszymi zmianami.

Konwencja w sprawie międzynarodowych przepisów o zapobieganiu zderzeniom na morzu z 1972 roku wraz z późniejszymi zmianami (COLREG).

Międzynarodowa konwencja o zapobieganiu zanieczyszczaniu morza przez statki z 1973 roku z Protokołem z 1978 roku (MARPOL 73/78) oraz z Protokołem z 1997 roku i późniejszymi zmianami.

Konwencja o ułatwieniu międzynarodowego obrotu morskiego z 1965 roku (FAL 1965) wraz z późniejszymi zmianami.

Międzynarodowa konwencja o liniach ładunkowych z 1966 roku (LL 1966) wraz z Protokołem z 1988 roku i późniejszymi zmianami.

Międzynarodowa konwencja o pomierzaniu pojemności statków z 1969 roku (TONNAGE 1969).

Międzynarodowa konwencja dotycząca interwencji na pełnym morzu w razie zanieczyszczenia olejami z 1969 roku (INTERVENTION 1969) i Protokół dotyczący interwencji na pełnym morzu w razie zanieczyszczenia substancjami innymi niż olej z 1973 roku (INTERVENTION PROT 1973) wraz z późniejszymi zmianami.

Międzynarodowa konwencja o odpowiedzialności cywilnej za szkody spowodowane zanieczyszczeniem olejami z 1969 roku (CLC 1969) wraz z Protokołami z 1976 i 1992 roku i poprawkami z 2000 roku.

Porozumienie w sprawie statków pasażerskich w ruchu specjalnym z 1971 roku (STP 1971) wraz z Protokołem z 1973 roku (SPACE STP 1973).

Konwencja o odpowiedzialności cywilnej w dziedzinie przewozu morskiego materiałów jądrowych z 1971 roku (NUCLEAR 1971).

Międzynarodowa konwencja o ustanowieniu Międzynarodowego Funduszu Odszkodowań za szkody spowodowane zanieczyszczeniem olejami z 1971 roku (FUND 1971) wraz z Protokołami z 1976, 1992, 2000 i 2003 roku oraz zmianami z 2000 roku.

Międzynarodowa konwencja o bezpiecznych kontenerach z 1972 roku (CSC 1972) wraz z późniejszymi zmianami.

Konwencja ateńska w sprawie przewozu morzem pasażerów i ich bagażu z 1974 roku (PAL 1974) z Protokołami z 1976, 1990 i 2002 roku.

Konwencja o utworzeniu Międzynarodowej Organizacji Ruchomej Łączności Satelitarnej z 1976 roku (INMARSAT C) wraz z późniejszymi zmianami i Porozumienie eksploatacyjne dotyczące Międzynarodowej Organizacji Ruchomej Łączności Satelitarnej z 1976 roku (INMARSAT OA) wraz z późniejszymi zmianami.

Konwencja o ograniczeniu odpowiedzialności za roszczenia morskie z 1976 roku (LLMC 1976) wraz z Protokołem z 1996 roku.

Międzynarodowa konwencja o wymaganiach w zakresie wyszkolenia marynarzy, wydawania im świadectw oraz pełnienia wacht z 1978 roku (STCW 1978) wraz z późniejszymi zmianami.

Międzynarodowa konwencja o wymaganiach w zakresie wyszkolenia, wydawania świadectw oraz pełnienia wacht dla załóg statków rybackich z 1995 roku (STCW-F 1995).

Międzynarodowa konwencja o poszukiwaniu i ratownictwie morskim z 1979 roku (SAR 1979) wraz z późniejszymi zmianami.

Konwencja w sprawie przeciwdziałania bezprawnym czynom przeciwko bezpieczeństwu żeglugi morskiej z 1988 roku (SUA 1988) i Protokół w sprawie przeciwdziałania bezprawnym czynom przeciwko bezpieczeństwu stałych platform na szelfie kontynentalnym z 1988 roku (SUA PROT 1988).

Międzynarodowa konwencja o ratownictwie z 1989 roku (SALVAGE 1989).

Międzynarodowa konwencja o współpracy i gotowości do zwalczania zanieczyszczeń olejowych z 1990 roku (OPRC 1990) i Protokół z 2000 roku do OPRC

dotyczący zwalczania zanieczyszczeń od substancji niebezpiecznych i szkodliwych (OPRC/HNS PROT 2000).

Międzynarodowa konwencja o odpowiedzialności i odszkodowaniach za szkody związane z przewozem morskim substancji niebezpiecznych i szkodliwych z 1996 roku (HNS 1996).

Konwencja o zapobieganiu zanieczyszczaniu mórz przez zatapianie odpadów i innych substancji z 1972 roku – tzw. Konwencja londyńska (LC 1972) wraz z późniejszymi zmianami i Protokół 1966 do Konwencji (LC PROT 1966).

Międzynarodowa konwencja o odpowiedzialności cywilnej za szkody spowodowane zanieczyszczeniami olejem bunkrowym z 2001 roku (BUNKERS 2001).

Międzynarodowa konwencja w sprawie kontroli nad systemami przeciwpiorostowymi stosowanymi na statkach z 2001 roku (AFS 2001).

Międzynarodowa konwencja o kontroli i postępowaniu ze statkowymi wodami balastowymi i osadami z 2004 roku (BWM 2004) [33].

2. Kodeksy [23]:

- 2.1. Międzynarodowy kodeks budowy i wyposażenia statków przewożących skroplone gazy luzem (Kodeks IGC).
- 2.2. Międzynarodowy kodeks środków ratunkowych (Kodeks LSA).
- 2.3. Międzynarodowy kodeks bezpiecznego przewozu masowych ładunków ziarna luzem.
- 2.4. Kodeks bezpiecznego postępowania przy rozmieszczaniu i mocowaniu ładunków (Kodeks CSS).
- 2.5. Międzynarodowy kodeks zarządzania bezpieczną eksploatacją statków i zapobieganiem zanieczyszczaniu (Kodeks ISM).
- 2.6. Kodeks bezpiecznego przewozu statkami napromienionego paliwa jądrowego, plutonu i wysoko promieniotwórczych odpadów w pojemnikach (Kodeks INF).
- 2.7. Międzynarodowe kodeksy bezpieczeństwa jednostek szybkich z 1994 i 2000 roku (Kodeksy HSC 1994 i HSC 2000).
- 2.8. Międzynarodowy kodeks stosowania procedur prób ogniowych (Kodeks FTP).
- 2.9. Kodeks bezpieczeństwa systemów pożarowych (Kodeks FSS).
- 2.10. Wytyczne dotyczące wprowadzenia programu rozszerzonych przeglądów na masowcach i zbiornikowcach.
- 2.11. Międzynarodowy kodeks budowy i wyposażenia statków przewożących niebezpieczne chemikalia luzem (Kodeks IBC).

- 2.12. Kodeks budowy i wyposażenia statków przewożących niebezpieczne chemikalia luzem (Kodeks BCH).
- 2.13. Międzynarodowy kodeks ochrony statków i obiektów portowych (Kodeks ISPS).
- 2.14. Kodeks wyszkolenia marynarzy, wydawania świadectw oraz pełnienia wacht (Kodeks STCW).
- 2.15. Międzynarodowy kod sygnałowy (ICS).
- 2.16. Międzynarodowy morski kodeks towarów niebezpiecznych (Kodeks IMDG).
- 2.17. Kodeks bezpieczeństwa jednostek niewypornościowych (Kodeks DSC).
- 2.18. Kodeks bezpiecznego przewozu stałych ładunków masowych (Kodeks BC).
- 2.19. Kodeks poziomu hałasu na statkach.
- 2.20. Kodeks bezpieczeństwa jądrowych statków handlowych.
- 2.21. Kodeks bezpieczeństwa statków specjalistycznych (Kodeks SPS).
- 2.22. Kodeks bezpieczeństwa urządzeń nurkowych.
- 2.23. Kodeks konstrukcji i wyposażenia ruchomych platform wiertniczych (Kodeks MODU 1989).
- 2.24. Kodeks alarmów i wskaźników (Kodeks AI).
- 2.25. Kodeks bezpiecznego postępowania na statkach przewożących pokładowe ładunki drewna.
- 2.26. Kodeks stateczności w stanie nieuszkodzonym dla wszystkich typów statków objętych wymaganiami IMO.
- 2.27. Kodeks bezpiecznego załadunku i rozładunku masowców.
- 2.28. Kodeks badania wypadków morskich i zdarzeń.
- 2.29. Kodeks przewozu towarów i osób statkami zaopatrzeniowymi morskich platform wydobywczych.
- 2.30. Międzynarodowy lotniczy i morski poradnik poszukiwania i ratowania (IAMSAR) [23].

3. Komitety Bezpieczeństwa

3.1. Komitet Bezpieczeństwa na Morzu (MSC):

- wdrożenie, egzekwowanie, monitorowanie, interpretacja techniczna i doskonalenie konwencji, kodeksów, zaleceń i wytycznych IMO;
- zagadnienia dotyczące projektowania i konstrukcji instalacji maszynowych i elektrycznych oraz wyposażenia statków;

- sprawy związane z nawigacją i radiokomunikacją;
- znaczenie czynnika ludzkiego w zapobieganiu wypadkom i katastrofom morskim;
- sprawy związane ze szkoleniem, wydawaniem świadectw i pełnieniem wacht;
- promowanie i dbałość o kulturę bezpieczeństwa żeglugi oraz o świadomość potrzeby jej ochrony;
- eksploatacja statków z uwzględnieniem aspektów bezpieczeństwa i ochrony w zarządzaniu na statku i na lądzie;
- sprawy związane z przewozem i przeładunkiem towarów;
- ocena liczbowa bezpieczeństwa statku (FSA);
- procedury kontroli statków, raporty niezgodności;
- statystyka i badanie przyczyn poważnych wypadków morskich;
- harmonizacja wymagań dla nadzorów i certyfikacji;
- zapobieganie aktom piractwa i zbrojnym napadom na statki oraz innym bezprawnym działaniom zagrażającym bezpieczeństwu żeglugi;
- środki dla zwiększenia ochrony żeglugi;
- środki bezpieczeństwa i procedury traktowania osób uratowanych na morzu;
- współpraca z ONZ i innymi organizacjami międzynarodowymi w sprawach wspólnego zainteresowania;
- podstawowe cele standardów konstrukcyjnych nowych statków (GBS);
- bezpieczeństwo dużych statków pasażerskich [23].

3.2. Komitet Ochrony Środowiska Morskiego (MEPC):

- zachęcanie do wdrażania najwyższych, praktycznie możliwych standardów w zakresie zapobiegania i kontroli zanieczyszczania morza ze statków;
- promowanie ogólnoświatowej akceptacji, wdrażanie i ujednolicone interpretowanie postanowień Konwencji MARPOL 73/78 wraz z Aneksami VI, Konwencji OPRC 1990, Protokołu OPRC-HNS, Konwencji AFS i Konwencji BWB;
- implementacja istniejących instrumentów traktatowych i działalność legislacyjna w zakresie zapobiegania zanieczyszczeniom ze statków i platform wydobywczych;
- opracowanie środków zapobiegania i kontroli zanieczyszczeń morza przy recyklingu (złomowaniu) statków oraz środków zmniejszających zagrożenie życia ludzi przy tych pracach;
- współpraca z ONZ i innymi komitetami IMO w zakresie kompetencji komitetu.

3.3. Komitet Prawny (LEG):

- ewentualna nowelizacja Konwencji prawa morskiego w świetle zaistniałych potrzeb i stosownie do wytycznych zawartych w rezolucjach Zgromadzenia A.500(XII), A.777(18) i A.900(21);
- monitorowanie wdrażania konwencji przygotowanych przez IMO;
- nadzór formalnoprawny spraw związanych z zadaniami IMO w świetle Konwencji ONZ o prawie morza (UNCLOS);
- promocja programów współpracy technicznej IMO w sprawach legislacji morskiej;
- koordynacja i współpraca z ONZ i jej agencjami w zakresie wspólnych interesów prawnych;
- nadzór formalnoprawny inicjatyw państw członkowskich i organizacji pozarządowych w zakresie prawa morskiego;
- zakończenie prac nad projektem Konwencji o usuwaniu wraków,
- monitorowanie prac Wspólnej Grupy Roboczej Ekspertów IMO/ILO w sprawie odszkodowań z tytułu roszczeń za utratę zdrowia i śmierć marynarzy oraz za porzucenie marynarzy przez armatorów;
- sprawy prawne związane z wyznaczaniem miejsc schronienia dla statków;
- monitorowanie wdrożenia Konwencji HNS.

3.4. Komitet Ułatwień (FAL):

- wdrażanie, interpretacja i doskonalenie Konwencji o ułatwieniach w międzynarodowym transporcie morskim (FAL) z 1965 roku i jej załączników;
- zachęcanie do wdrażania środków mających na celu ułatwienia i szybki obrót w międzynarodowym handlu morskim oraz zapobieganie nieuzasadnionym opóźnieniom odpraw statków, osób i towarów;
- promocja stosowania wzorów formularzy IMO FAL oraz wdrażanie systemu elektronicznej wymiany informacji w załatwianiu formalności związanych z odprawą statków, załogi, pasażerów i ładunku oraz w operacjach portowych związanych ze statkami;
- popieranie niezbędnych mechanizmów służących wypełnianiu zadań komitetu i utrzymywanie ścisłej współpracy w tym zakresie z innymi organami IMO.



Robert Grzegorowski – absolwent Wydziału Mechanicznego Uniwersytetu Morskiego w Gdyni oraz University of Wales, gdzie ukończył program MBA w zakresie zarządzania projektami. Project Manager w sektorze *Oil & Gas* oraz *Offshore Wind*. Związany z sektorem morskim od 25 lat. Po skończeniu uczelni rozpoczął pracę zawodową jako mechanik okrętowy w roku 2000, a następnie pracował na stanowisku inżyniera projektu, nadzorując budowę nowych jednostek. Przez ponad

dekadę był inspektorem i audytorem w Towarzystwie Klasyfikacyjnym ABS, a następnie sprawował wielorakie stanowiska kadry zarządzającej.

Aktywnie zaangażowany w rozwój sektora morskiej energetyki wiatrowej w Polsce. Gościnny wykładowca na Uniwersytecie Morskim oraz Akademii Marynarki Wojennej w Gdyni. Panelista międzynarodowych i krajowych konferencji branżowych.

Rozdział 3

BEZPIECZEŃSTWO I PŁYNNOŚĆ ŻEGLUGI STATKÓW W KONTEKŚCIE BUDOWY MORSKICH FARM WIATROWYCH W POLSKICH OBSZARACH MORSKICH

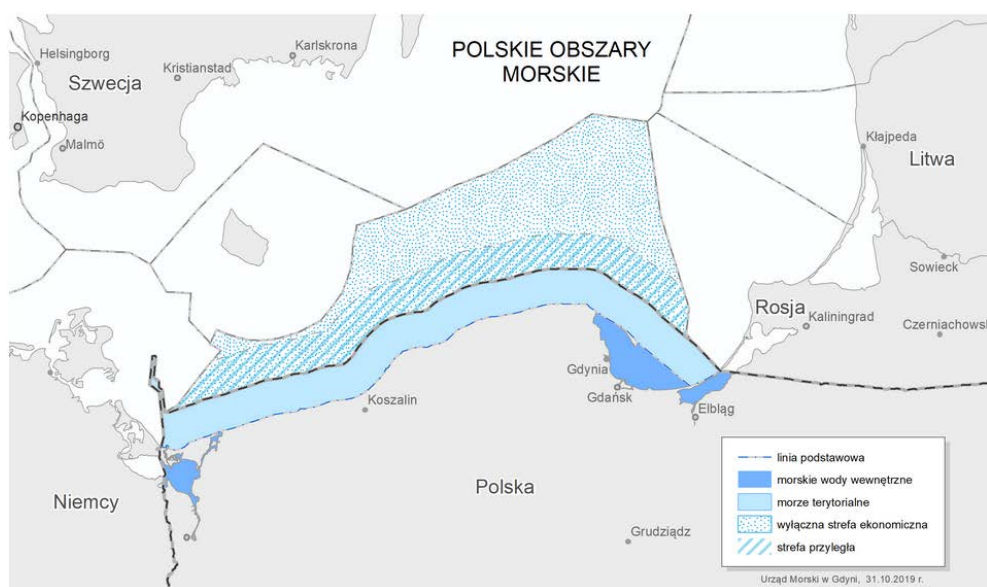
1. PRAWNE ASPEKTY ZAPEWNIENIA BEZPIECZEŃSTWA ŻEGLUGI W POLSKICH OBSZARACH MORSKICH

1.1. Rola administracji morskiej – podział, kompetencje

Położenie oraz podział terytorialny polskich obszarów morskich, jak również wynikające z niego kompetencje i zadania organów administracji morskiej, są ściśle określone przepisami Ustawy o obszarach morskich i administracji morskiej [21]. Nakłada ona na poszczególne organy administracji określone role i wynikające z nich obowiązki, związane z odpowiedzialnym i zrównoważonym zagospodarowaniem polskich obszarów morskich oraz pełnieniem nad nimi nadzoru. Przepisy ustawy dają Rzeczypospolitej Polskiej m.in. wyłączne prawo do wznoszenia i wykorzystywania sztucznych wysp, konstrukcji i urządzeń, jakimi są morskie elektrownie wiatrowe oraz szczegółowo określają lokalizacje, w których można budować owe konstrukcje. Jednocześnie przywołane przepisy zobowiązują polskie władze do nadzoru nad przestrzeganiem w tychże obszarach prawa międzynarodowego, czyli m.in. prawa do swobodnej żeglugi. Co więcej, polska administracja morska uczestniczy jako organ opiniujący w postępowaniach, dotyczących transgranicznego oddziaływania na środowisko morskich farm wiatrowych innych państw, planowanych na obszarach graniczących z polską wyłączną strefą ekonomiczną, na zasadach tzw. strony narażonej.

Największy wpływ z punktu widzenia procesów legislacyjnych, dotyczących wznoszenia morskich farm wiatrowych, ma podział morskich obszarów na morze terytorialne, wchodzące w skład terytorium Rzeczypospolitej Polskiej, oraz

na polską wyłączną strefę ekonomiczną, stanowiącą obszar wód międzynarodowych o ograniczonej jurysdykcji państwowej [21]. W strefie ekonomicznej międzynarodowe prawo morza daje obcym podmiotom wiele uprawnień, m.in. prawo do swobodnej żeglugi, przelotu oraz układania kabli i rurociągów podwodnych pod warunkiem, że powyższa działalność nie narusza przepisów państwa nadbrzeżnego. Obszary morskie charakteryzują się bowiem zróżnicowaniem statusu prawnego, wynikającego zarówno z konwencji o prawie morza [4], jak i z ustawodawstwa wewnętrznego poszczególnych państw [21].



Rys. 1. Polskie obszary morskie

Źródło: System Informacji Przestrzennej Administracji Morskiej SIPAM.

Z podziału tego wynika szereg istotnych kwestii, stanowiących wyzwania dla sprawnego przeprowadzania procesów inwestycyjnych MFW, z którymi obecnie mierzą się zarówno inwestorzy, jak i organy administracji morskiej na różnych szczeblach. Przede wszystkim wznoszenie konstrukcji morskich farm wiatrowych w polskich obszarach morskich możliwe jest tylko w wyłącznej strefie ekonomicznej [21]. Oznacza to, że konstrukcje turbin powstaną w odległości co najmniej 12 mil morskich od linii brzoewą (ok. 22 km). Wymóg ten wynika z konieczności ograniczenia negatywnego wpływu na krajobraz nadmorskich miejscowości turystycznych. Jednakże zniwelowanie jednego konfliktu przestrzennego zrodziło

kolejny. Morskie farmy wiatrowe będą bowiem wznoszone na wodach międzynarodowych, gdzie obowiązuje swoboda żeglugi, co dość mocno determinuje sposoby i środki regulacji żeglugi w tychże obszarach [4]. Jest to jedna z „bólączek” w zakresie zapewnienia bezpieczeństwa żeglugi w rejonie i na obszarze farm, ponieważ uregulowania te mają na celu zarówno odpowiednie zabezpieczenie konstrukcji turbin i stacji elektroenergetycznych, jak i zapewnienie bezpiecznej nawigacji statkom, których trasa do portu przeznaczenia, bądź też na łowiska, wiedzie przez rejon y morskich farm wiatrowych.

Podobne wyzwania pojawiają się podczas procesu układania infrastruktury przesyłowej MFW. Podmorskie kable przesyłające energię ze stacji elektroenergetycznych na ląd będą ciągnęły się na długości kilkudziesięciu kilometrów, przecinając wyłączną strefę ekonomiczną oraz wody terytorialne, na których obowiązują odrębne kompetencje administracji morskiej chociażby w zakresie zamykania akwenów dla żeglugi.

Naczelnym organem administracji morskiej w Polsce jest minister właściwy do spraw gospodarki morskiej, aktualnie jest to Minister Infrastruktury. Terenowymi organami administracji morskiej są dyrektorzy urzędów morskich [21]. Minister jako organ nadrzędny sprawuje nadzór nad działalnością dyrektorów urzędów morskich.

Uprawnienia poszczególnych organów są podzielone, ale ich kompetencje przenikają się i uzupełniają wzajemnie, głównie ze względu na wspomniany podział obszarów morskich na morze terytorialne i wyłączną strefę ekonomiczną. W zależności od tego, w jakim obszarze znajduje się dana inwestycja, inne organy pełnią role decyzyjne lub opiniodawcze. Dotyczy to m.in. wydawania pozwoleń na układanie kabli, opiniowania inwestycji MFW na różnych etapach procesu legislacyjnego, jak również wydawania uzgodnień czy zawierania umów na użytkowanie dna morskiego.

Ze względu na to, że lokalizacje wszystkich aktualnie procedowanych inwestycji MFW znajdują się w wyłącznej strefie ekonomicznej, pozwolenie lokalizacyjne na ich wznoszenie wydaje minister właściwy do spraw gospodarki morskiej. Pozwolenie na układanie i utrzymywanie kabli na obszarze morskich wód wewnętrznych i morza terytorialnego wydaje właściwy terytorialnie dyrektor urzędu morskiego, natomiast dla tych inwestycji, których infrastruktura przesyłowa znajduje się na obszarze wyłącznej strefy ekonomicznej, uzgodnienia ustalające lokalizację i warunki utrzymywania kabli wydaje minister [21].

Do 2020 roku w Polsce funkcjonowały trzy urzędy morskie: w Gdyni, w Słupsku oraz w Szczecinie. Z dniem 1 kwietnia 2020 roku na mocy

Rys. 2. Podział kompetencyjny dyrektorów urzędów morskich w polskich obszarach morskich

Źródło: opracowanie własne.

Kompetencje dyrektorów urzędów morskich jako terenowych organów administracji morskiej, związane z powstawaniem na polskich wodach MFW, są bardzo szerokie i dotyczą niemalże wszystkich etapów i rodzajów postępowań, przede wszystkim w zakresie zapewnienia bezpieczeństwa żeglugi. Na etapach przygotowawczych urzędy morskie opiniują dokumenty dotyczące zapewnienia bezpieczeństwa żeglugi i środowiska morskiego. Określają szczegółowe wytyczne dla inwestorów w zakresie spełniania wymagań polskiego prawodawstwa, m.in. na temat warunków żeglugi w obszarach MFW, sposobów oznakowania MFW, planów bezpieczeństwa żeglugi dla MFW, uzgadniania sposobów współpracy inwestorów na etapie budowy itp.

Już po rozpoczęciu prac budowlanych na morzu inwestorzy czy też ich wykonawcy będą przekazywać dyrektorom urzędów morskich informacje na temat aktualnie prowadzonych prac oraz jednostek zaangażowanych w budowę. Ma to na celu zapewnienie przekazywania informacji mających wpływ na bezpieczeństwo żeglugi wszystkim zainteresowanym użytkownikom morza. Co więcej, na akwenach

będących w jurysdykcji odpowiedniego dyrektora urzędu morskiego, dyrektor ów będzie wpływał na zasady żeglugi, np. poprzez wydawanie stosownych zarządzeń o zamknięciu akwenu [21]. Kluczową rolę urzędy morskie będą również odgrywać w uzgadnianiu sposobu oznakowania nawigacyjnego i identyfikacyjnego MFW, a także oznakowania jednostek biorących udział w budowie i podczas eksploatacji. Po ukończeniu przez inwestora fazy budowy, podczas wieloletniej eksploatacji MFW dyrektor urzędu morskiego poprzez odpowiednie służby kontroli ruchu morskiego będzie współpracował z centrami operacyjno-serwisowymi w zakresie przekazywania informacji, dotyczących wszelkich sytuacji w rejonie farm, mających wpływ na bezpieczeństwo żeglugi [25].

2. SPOSOBY ZARZĄDZANIA BEZPIECZEŃSTWEM ŻEGLUGI

2.1. Systemy rozgraniczenia ruchu TSS

Podstawowym aspektem w kontekście zarządzania ryzykiem bezpieczeństwa żeglugi jest zagadnienie regulacji ruchu w obszarach morskich. Jednym ze sposobów ograniczania ryzyka dla bezpiecznej nawigacji jest uporządkowanie ruchu statków poprzez wyznaczanie bezpiecznych torów wodnych, tras żeglugowych oraz ustanawianie systemów rozgraniczenia ruchu. W polskim rejonie Morza Bałtyckiego położenie ustanowionych systemów rozgraniczenia ruchu względem obszarów, przeznaczonych do pozyskiwania energii z wiatru, stanowi jeden z licznych konfliktów przestrzennych w procesie zagospodarowania morza.

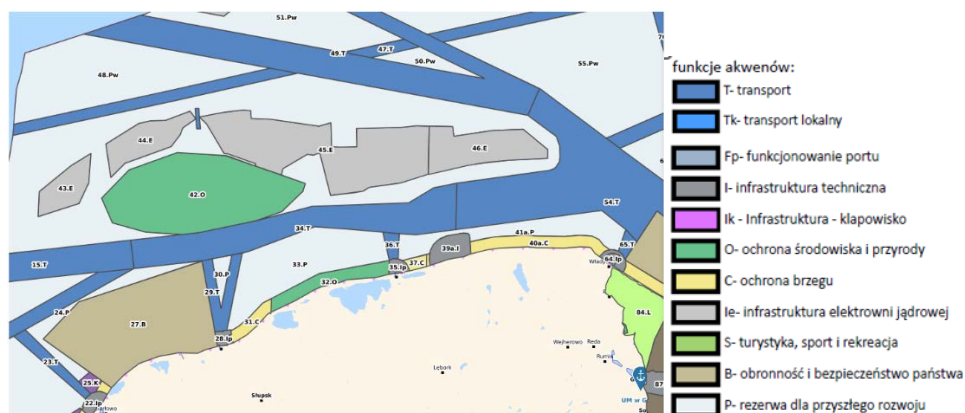
Ustawa o obszarach morskich określa, że „jeżeli jest to konieczne ze względu na bezpieczeństwo żeglugi, minister właściwy do spraw gospodarki morskiej (...) może wyznaczyć na morzu terytorialnym trasy przepływu, systemy rozgraniczenia ruchu i zgłaszania pozycji statku, a także określić sposób sprawowania kontroli ruchu statków w tym systemie” [21].

Systemy rozgraniczenia ruchu (ang. *Traffic Separation Schemes* – TSS) ustanawia się w rejonach o intensywnym natężeniu ruchu statków, skupieniu dużej liczby jednostek w wąskich przejściach lub w rejonie występowania niebezpieczeństw nawigacyjnych, stanowiących duże zagrożenie kolizji lub wejścia na mieliznę. Na wodach terytorialnych takie uregulowania są ustanawiane przez administrację morską państwa nadbrzeżnego i zatwierdzane przez Międzynarodową Organizację Morską (IMO). Główną zatem przesłanką ustanawiania wspomnianych

systemów jest zapewnienie płynności i bezpieczeństwa żeglugi statków oraz ochrony środowiska morskiego.

Zasady poruszania się w systemach rozgraniczenia ruchu określa prawidło 10 Międzynarodowych Przepisów o Zapobieganiu Zderzeniom na Morzu [7]. Jednocześnie należy mieć na uwadze, że nie wszystkie statki podlegają obowiązkowi korzystania z systemów VTS. System VTS Zatoka Gdańska jest bowiem obligatoryjny dla statków towarowych o pojemności brutto 150 i więcej oraz wszystkich statków pasażerskich i zajętych holowaniem. Kapitan statku przebywającego w obszarze VTS jest zobowiązany do zapewnienia, aby jego statek był obsadzony wystarczającą załogą o odpowiednich kwalifikacjach zgodnie z wymaganiami administracji bandery statku, stwierdzonymi w certyfikacie bezpiecznej obsługi lub odpowiednio w karcie bezpieczeństwa [29].

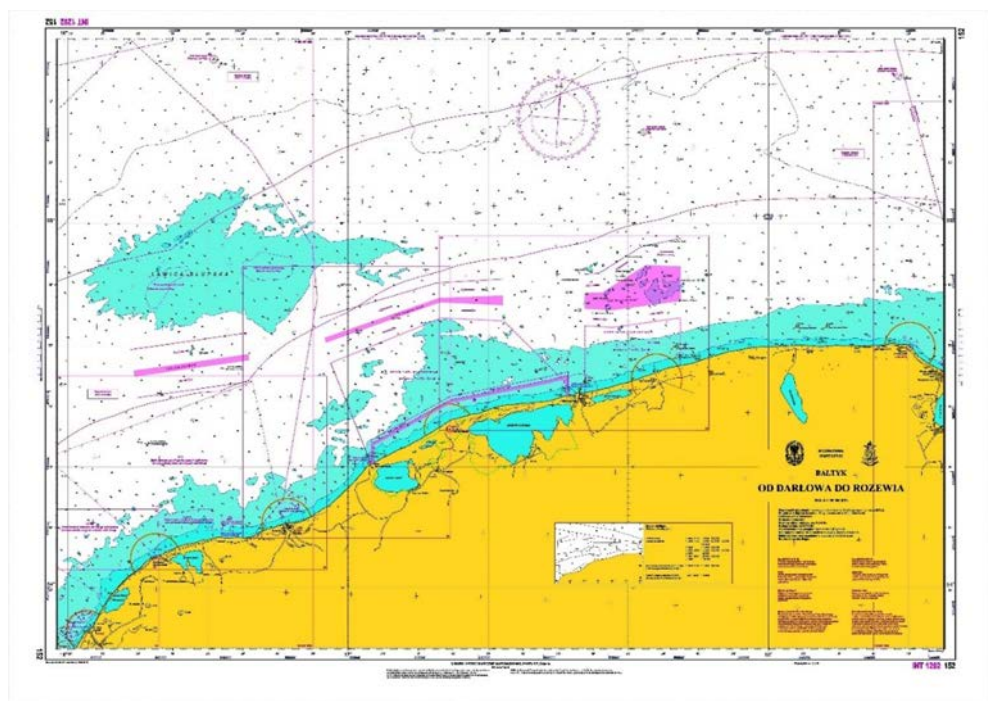
W kontekście zagospodarowania polskich obszarów morskich infrastrukturą farm wiatrowych najważniejszym systemem rozgraniczenia ruchu jest system TSS Ławica Słupska, ponieważ jest zlokalizowany w bliskiej odległości od rejonu, na którym w niedalekiej przyszłości powstaną farmy. Jeszcze przed rozpoczęciem procesów inwestycyjnych obszar, na którym został ustanowiony TSS, był niewątpliwie dla zapewnienia bezpieczeństwa żeglugi. W sąsiedztwie tej lokalizacji znajdują się bowiem strefy czasowo zamykane dla żeglugi i rybołówstwa, stanowiące obszary ćwiczeń wojskowych. Rejon ten bardzo wyraźnie uwidacznia konflikt przestrzenny w użytkowaniu morza przez poszczególnych interesariuszy, takich jak wojsko, żegluga, rybołówstwo, ale też środowisko naturalne ze względu na bliskość obszaru wrażliwego Natura 2000 Ławica Słupska.



Rys. 3. Fragment planu zagospodarowania przestrzennego polskich obszarów morskich

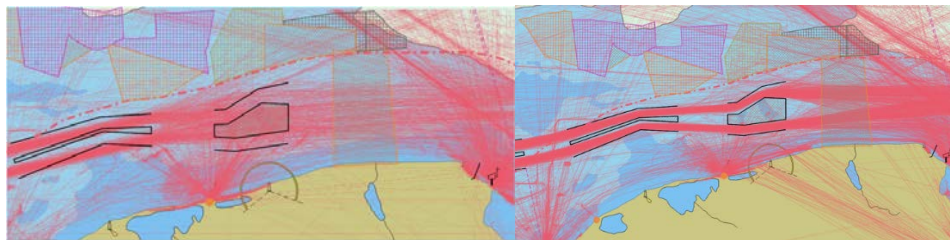
Źródło: System Informacji Przestrzennej Administracji Morskiej SIPAM.

System TSS Ławica Słupska został przyjęty na 87. Sesji Komitetu Bezpieczeństwa Morskiego IMO i obowiązuje od 1 grudnia 2010 roku [9]. Zagrożenia dla bezpieczeństwa żeglugi w tym rejonie uwidoczniły się najbardziej w 2013 roku poprzez wypadek masowca „Twinkle Island”, który, płynąc z Gdańska z ładunkiem węgla, osiadł na mieliźnie przed wejściem w obszar TSS. Skutkiem analizy tych wydarzeń było zainicjowanie procesu legislacyjnego prowadzącego do zmiany TSS, polegającej na utworzeniu trzeciej, obecnie wschodniej części TSS. Zmieniony system obowiązuje od 1 czerwca 2021 roku [28]. Wydarzenia te potwierdzają, że już w chwili obecnej zagrożenia dla bezpiecznej żeglugi w rejonie ustanowienia TSS są znaczące, a po rozpoczęciu budowy farm wiatrowych, przede wszystkim zaś infrastruktury przyłączeniowej dla elektrowni wiatrowych, zagrożenia te nasilą się jeszcze bardziej. Zapewnienie bezpieczeństwa żeglugi w tym newralgicznym rejonie będzie wymagało wdrożenia wielu dodatkowych specjalnych środków, minimalizujących te ryzyka.



Rys. 4. System rozgraniczenia ruchu TSS Ławica Słupska

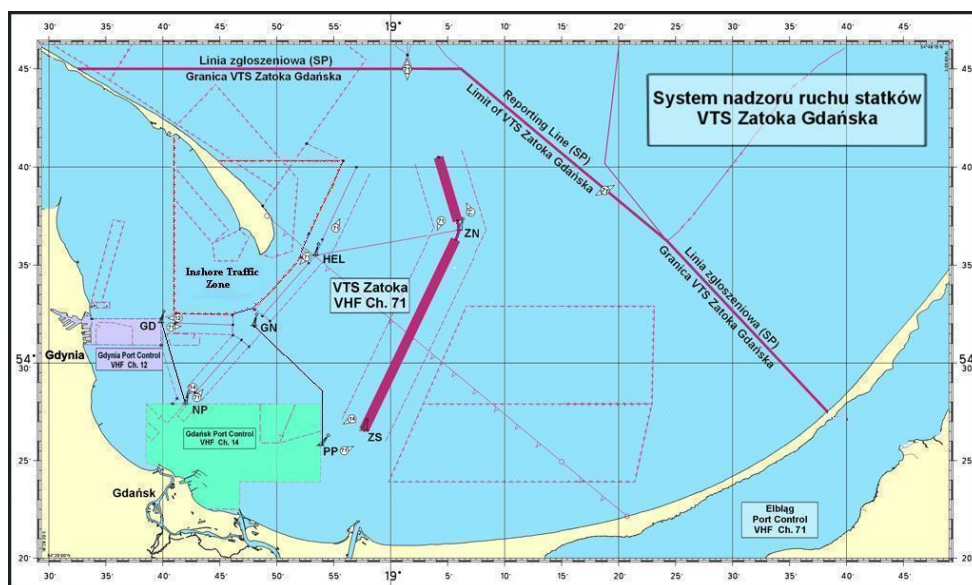
Źródło: Zarządzenie porządkowe nr 4 Dyrektora Urzędu Morskiego w Gdyni z dnia 24 maja 2021 roku w sprawie zmiany obszaru działania i zadań Służby Kontroli Ruchu Statków VTS Ławica Słupska [28].



Rys. 5. Rozkład natężenia ruchu statków przed i po wprowadzeniu trzeciego odcinka TSS Ławica Słupska

Źródło: System Wymiany Informacji Bezpieczeństwa Żeglugi SWIBŻ – opracowanie własne.

Drugim rejonem, w którym obowiązuje system rozgraniczenia ruchu, jest obszar Zatoki Gdańskiej, gdzie ustanowiony został system VTS Zatoka Gdańska, obejmujący tory podejściowe do portów w Gdyni oraz w Gdańsku. Obszar ten objęty jest również obowiązkowym systemem meldunkowym GDANREP. Obszar VTS Zatoka Gdańska jest monitorowany przez służbę VTS.



Rys. 6. System rozgraniczenia ruchu TSS Zatoka Gdańska

Źródło: www.umgdy.gov.pl.

2.2. Monitorowanie ruchu statków w polskich obszarach morskich – służby kontroli ruchu statków (VTS)

Kolejnym kluczowym elementem zapewnienia bezpieczeństwa żeglugi, czyli zapobiegania wypadkom i zanieczyszczeniom środowiska morskiego, jest monitorowanie ruchu statków w obszarach morskich. Skuteczne monitorowanie pozwala na podejmowanie przez odpowiednie służby i administrację morską działań w przypadku zaistnienia zagrożeń, wspomaga prowadzenie akcji ratowniczych oraz usuwanie zanieczyszczeń środowiska morskiego. Dodatkowo monitorowanie ruchu morskiego wspomaga proces decyzyjny w sytuacji udzielania miejsca schronienia statkom znajdującym się w niebezpieczeństwie lub reagowania na zagrożenia niestandardowe, wspomaga także prowadzenie dochodzeń powypadkowych i wykrywanie sprawców zanieczyszczeń [24].

Monitoring ruchu statków w polskich obszarach morskich odbywa się na ściśle określonych obszarach, a mianowicie w obszarach odpowiedzialności służb kontroli ruchu statków. Służby VTS (ang. *Vessel Traffic Service*) w obszarze swojego działania realizują zadania jako całodobowe, działające przez 7 dni w tygodniu służby dyrektora urzędu morskiego odpowiedzialne za monitorowanie ruchu statków i przekazywanie informacji [17]. Podstawowe zadania służby VTS to przede wszystkim kontrola i zarządzanie ruchem statków poprzez wydawanie instrukcji, zaleceń i nakazów, nadzór nad przestrzeganiem przez statki przepisów ruchu na wyznaczonych trasach przepływu, w szczególności w systemach rozgraniczenia ruchu oraz pełnienie serwisu informacyjnego [17]. Serwis informacyjny polega na rozpowszechnianiu drogą radiową informacji nawigacyjnych i hydrologiczno-meteorologicznych.

W szczególnych przypadkach niezwykle istotnym zadaniem pozwalającym służbie VTS bezpośrednio wpływać na zwiększenie bezpieczeństwa żeglugi jest pełnienie serwisu asysty morskiej zgodnie z wytycznymi Międzynarodowej Organizacji Morskiej IMO [29]. Skuteczne wykonywanie zadań przez służbę VTS możliwe jest dzięki zapewnieniu odpowiedniej infrastruktury technicznej oraz systemu monitorowania i analizy sytuacji, ostrzegania o zagrożeniach i przekazywania informacji dotyczących bezpieczeństwa morskiego.

Wszystkie zadania pełnione są z wykorzystaniem dostępnych dla służby systemów radarowych, urządzeń łączności oraz Systemu Automatycznej Identyfikacji (AIS). Infrastruktura techniczna jest to przede wszystkim podsystem monitorowania ruchu statków, składający się z radarów brzegowych bliskiego i dalekiego zasięgu, stacji brzegowych systemu AIS oraz z Systemu Identyfikacji i Śledzenia

Dalekiego Zasięgu (LRIT), jak również aplikacją mapową czyli System Wymiany Informacji Bezpieczeństwa Żeglugi (SWIBŻ) [24].

W Urzędzie Morskim w Gdyni funkcjonują dwie służby VTS: VTS Zatoka Gdańska oraz VTS Ławica Słupska [25]. To właśnie Służba Kontroli Ruchu Statków VTS Ławica Słupska (ang. *VTS Słupska Bank*) będzie odpowiedzialna za nadzór nad ruchem statków we wspomnianym, wysoce newralgicznym akwenie, na którym ustanowiono system TSS Ławica Słupska. W ostatnim czasie, ze względu na rozpoczynające się właśnie pierwsze prace budowlane na morzu, związane z powstaniem morskich farm wiatrowych, służba ta otrzymała nowe zadanie pełnienia roli koordynatora w zakresie współpracy z centrami operacyjno-serwisowymi morskich farm wiatrowych [25]. Wynikające z tego nowe obowiązki służby VTS obejmują przede wszystkim działania, związane z zapewnieniem bezpieczeństwa żeglugi w związku z procesem powstawania MFW. Zmiany te mają na celu skuteczne zarządzanie ryzykiem dla bezpieczeństwa ruchu morskiego, wynikającego ze wzrostu natężenia żeglugi.



Rys. 7. Siedziba Służby VTS Ławica Słupska w Kapitanacie Portu Ustka

Źródło: Zbiory VTS Ławica Słupska.

A co z monitorowaniem obszarów przyszłych morskich farm wiatrowych przez służby administracji morskiej? W polskich obszarach morskich poza obszarami objętymi systemami VTS administracja morska co do zasady nie monitoruje ruchu statków. Wyjątkiem są sytuacje, kiedy statek w obszarze wyłącznej strefy

ekonomicznej ulegnie wypadkowi i zgłosi to za pośrednictwem stacji brzegowej do najbliższej Służby VTS [22]. Ustawa o bezpieczeństwie morskim stanowi, że kapitan statku znajdującego się w polskich obszarach morskich informuje niezwłocznie najbliższą brzegową stację radiową lub Służbę Kontroli Ruchu Statków, zwaną Służbą VTS, o wszystkich zdarzeniach, które mają wpływ na bezpieczeństwo statku (takich jak kolizje, wejście na mieliznę, uszkodzenia urządzeń statku, itp.) lub zagrażają bezpieczeństwu morskiemu [22]. W takich przypadkach monitorowanie odbywa się po wydaniu decyzji przez dyrektora urzędu morskiego. Dyrektor poprzez możliwość nakazania kapitanowi statku znajdującego się w niebezpieczeństwie lub statku potrzebującego pomocy wykonywania jego poleceń, takich jak ograniczenie ruchu statku lub podążenie określonym kursem, bądź też skorzystanie z usługi pilotowej lub holowniczej, zapewnia monitorowanie ruchu takiego statku przez Służbę VTS oraz niezwłocznie informuje o tych statkach, również za pośrednictwem Służby VTS, właściwe organy państw członkowskich Unii Europejskiej, położonych wzdłuż planowanej trasy podróży takiego statku.

Działania te są podstawą realizacji zadań administracji morskiej w zakresie monitorowania ruchu statków. Dotyczy to również realizacji działań, związanych z zapewnieniem bezpieczeństwa i efektywności ruchu statków, skuteczności działań ratowniczych w razie wypadków lub w sytuacjach potencjalnie niebezpiecznych na morzu oraz działań w zakresie zapobiegania i wykrywania zanieczyszczeń powodowanych przez statki.

3. BEZPIECZEŃSTWO ŻEGLUGI A MORSKIE FARMY WIATROWE

3.1. Wpływ morskich farm wiatrowych na bezpieczeństwo żeglugi

Nie ulega wątpliwości, że zarówno w czasie budowy, jak i wieloletniej eksploatacji morskich farm wiatrowych w rejonach objętych zabudową elektrowni wiatrowych żegluga statków podlegać będzie silnym zakłóceniom i znacznie wzrośnie w tych obszarach ryzyko zdarzeń niepożądanych, wpływających na bezpieczeństwo żeglugi.

Próbując scharakteryzować te oddziaływania, można je podzielić na dwa etapy: etap budowy morskiej farmy wiatrowej i etap eksploatacji. W czasie etapu budowy zakłócenia dla płynnego i bezpiecznego ruchu morskiego będą dużo bardziej uciążliwe, natomiast etap ten będzie zdecydowanie krótszy niż wieloletni etap eksploatacji. Należy pamiętać, że budowa MFW obejmuje nie tylko posadowienie

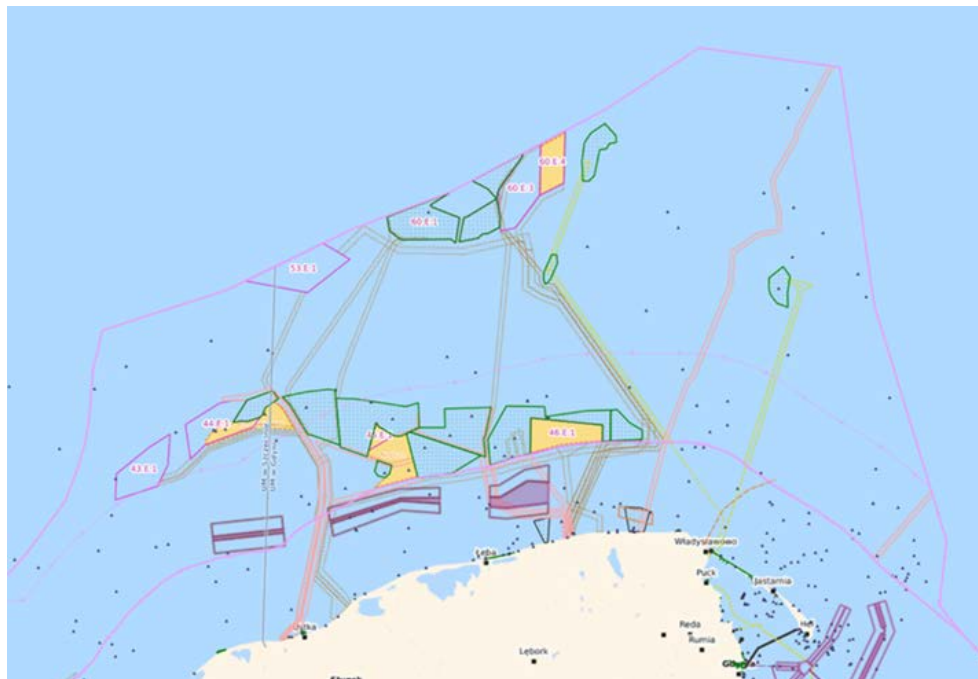
turbin na ściśle określonym obszarze objętym pozwoleniem lokalizacyjnym, ale również operacje układania oraz zagłębiania w dno morskie kabli ekspertowych na długości kilkudziesięciu kilometrów przecinających trasy żeglugowe, po których odbywa się intensywny ruch statków handlowych. Zakłócenia te, mimo że znaczące, będą ograniczone do czasu budowy. Na etapie eksploatacji, jakkolwiek znacznie dłuższym niż etap budowy, bo przewidzianym na około 30 lat funkcjonowania morskiej farmy wiatrowej, negatywny wpływ będzie już odpowiednio „zmitygowany”: obszary zabudowane konstrukcjami będą miały ściśle ustaloną lokalizację, będą odpowiednio oznakowane i oświetlone, ich pozycje będą naniesione na mapy nawigacyjne, a ryzyka i zagrożenia dla bezpieczeństwa żeglugi po uprzednim szczegółowym oszacowaniu będą zminimalizowane do poziomu odpowiednio niskiego, czyli do poziomu ryzyka akceptowalnego.

Omawiając zagrożenia, dotyczące funkcjonowania farm wiatrowych oraz infrastruktury przesyłowej na morzu, nie sposób nie wspomnieć o celowych działaniach zagrażających bezpieczeństwu, związanych z działalnością przestępczą, aktami terrorystycznymi czy aktami wandalizmu [15]. Zdarzenia takie mogą przyjmować formy incydentów nawigacyjnych, takich jak wleczenie kotwic w rejonie układania kabli, niebezpieczne manewrowanie czy zakłócanie systemów nawigacji satelitarnej. One również wymagają przeprowadzenia szczegółowych analiz zagrożeń oraz identyfikacji ryzyka i podatności na te zagrożenia i ryzyka, a co za tym idzie, określenia ich potencjalnych skutków i wprowadzenia odpowiednich środków zabezpieczających w postaci np. systemów ochrony technicznej, uwzględniających możliwość wykrywania i rejestracji działań przez zdalnie sterowane jednostki pływające nawodne i podwodne oraz obiekty latające, w tym bezzałogowe statki powietrzne [15].

Na rysunku 8 widać obszary zarezerwowane dla przedsięwzięć morskiej energetyki wiatrowej oraz przebieg infrastruktury przesyłowej w stosunku do lokalizacji i przebiegu ważnych tras żeglugowych, jak również innych obecnych i planowanych działalności w polskich obszarach morskich. Mimo korzystnej lokalizacji morskich farm wiatrowych, wynikającej z analizy warunków wietrznych, pojawia się szereg ograniczeń związanych z wykorzystaniem przydatnej przestrzeni morskiej.

Do najważniejszych z nich można zaliczyć wpływ na bezpieczeństwo tras żeglugowych, na rybołówstwo i ograniczenie w wykorzystaniu łowisk oraz potencjalne ograniczenie w eksploatacji blisko położonych kopalin i złóż naturalnych [10]. W związku z tym wybór lokalizacji morskich farm wiatrowych powinna poprzedzić szeroka i wielopunktowa analiza, której jednym z elementów powinien

być aspekt bezpieczeństwa statków podczas ich przejścia przez wyznaczone tory i strefy rozgraniczenia ruchu [11].



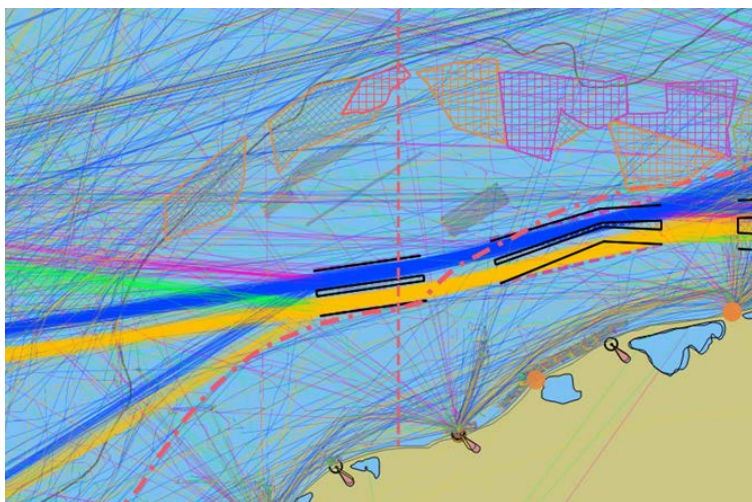
Rys. 8. Lokalizacja obszarów morskich farm wiatrowych na tle innych istniejących i planowanych przedsięwzięć w polskich obszarach morskich

Źródło: System Informacji Przestrzennej Administracji Morskiej.

Całość obszarów morskich Rzeczypospolitej Polskiej objęta została ustaleniami planu zagospodarowania przestrzennego, ustanowionego Rozporządzeniem Rady Ministrów z dnia 14 kwietnia 2021 roku w sprawie przyjęcia planu zagospodarowania przestrzennego morskich wód wewnętrznych, morza terytorialnego i wyłącznej strefy ekonomicznej w skali 1:200 000 [19]. Dokument ten dzieli obszary morskie na akweny, dla których ustalone zostały funkcje podstawowe i dopuszczalne. Dla obszarów przeznaczonych pod budowę morskich farm wiatrowych ustalona funkcja podstawowa obejmuje pozyskiwanie energii odnawialnej. Jednak obszary te są również wykorzystywane przez inne sektory gospodarki, takie jak transport, rybołówstwo czy turystyka. Wzajemne oddziaływanie na siebie tych aktywności objęte zostało porozumieniem i współpracą poszczególnych interesariuszy zaangażowanych w działalność na morzu [12]. Również zapisy Planu POM

przewidują wzajemne korzystanie z obszarów, określając tzw. funkcje dopuszczalne na tych akwenach, takie jak np. akwakultura, prowadzenie badań naukowych, rybołówstwo oraz transport. Dla każdego akwenu określono także szczegółowe warunki korzystania z niego, polegające m.in. na ograniczeniach uprawiania rybołówstwa i żeglugi w strefach bezpieczeństwa ustalonych dla konstrukcji farmy. Jednak mimo tych planistycznych wstępnych ustaleń, definiujących zasady wspólnego korzystania z akwenu przez różnych interesariuszy, zagrożenia dla bezpiecznej i swobodnej żeglugi statków w rejonach powstawania MFW i tak będą znaczne, ze względu na pojawienie się na morzu fizycznych przeszkód dla nawigacji, jakimi będą konstrukcje turbin wiatrowych, oraz wynikająca z ich obecności konieczność omijania przez statki obszarów zabudowanych farmami wiatrowymi.

Farma wiatrowa mocno ogranicza możliwości swobodnej żeglugi i wykonywania rybołówstwa wokół niej [12]. W związku z tym trasy żeglugowe, które przebiegają obecnie przez obszary przyszłych farm wiatrowych, ulegną wydłużeniu, ponieważ statki zmuszone będą omijać powstające obszary farm i planować alternatywne, często wydłużone trasy przejścia. Jak wynika z raportów HELCOM, liczba wypadków na obszarze Morza Bałtyckiego z roku na rok jest coraz większa [1], a dodatkowe ograniczenie swobodnej żeglugi wynikające z powstania sztucznych wysp, jakimi będą morskie farmy wiatrowe, jeszcze bardziej zwiększy ryzyko zdarzeń.



Rys. 9. Zobrazowanie strumienia ruchu statków na obszarach przyszłej zabudowy MFW

Źródło: System Wymiany Informacji Bezpieczeństwa Żeglugi – opracowanie własne.

Na bezpieczeństwo żeglugi w rejonach powstających MFW negatywny wpływ będzie miał również wzmożony ruch jednostek związanych z budową, a następnie eksploatacją morskiej farmy wiatrowej. Inwestorzy deklarują, że w szczytowych momentach prac instalacyjnych w rejonie farm przewiduje się obecność do kilkunastu operujących jednostek. Będą to statki i barki transportowe, jednostki typu *jack-up*, kablownce, statki do transferu załogi (ang. *Crew Transfer Vessel* – CTV), holowniki, statki dozorowe (ang. *Guard Vessel* – GV) szerzej opisane w punkcie 1.3.3. Kumulacja tak dużej liczby jednostek wokół obszaru farmy znacząco utrudni bezpieczną nawigację. Dodatkowo prawdopodobieństwo powstania sytuacji kolizyjnych zwiększy się ze względu na to, że jednostki zajęte pracami instalacyjnymi mają ograniczone zdolności manewrowe. Statki konstrukcyjne, przeznaczone do posadawiania fundamentów czy konstrukcji elektrowni wiatrowych, mają zmniejszone możliwości zmiany kursu lub prędkości w celu uniknięcia sytuacji kolizyjnej podczas prowadzenia prac.

3.2. Ekspertyza nawigacyjna

Przepisy i wymagania, dotyczące bezpieczeństwa żeglugi w rejonie morskich farm wiatrowych w polskich obszarach morskich, częściowo zawarte są w rozdziale zatytułowanym „Bezpieczeństwo eksploatacji morskich farm wiatrowych” Ustawy o bezpieczeństwie morskim, wprowadzonym tzw. ustawą *offshore* [23]. Rozdział ten stanowi m.in., że w celu zapewnienia bezpieczeństwa żeglugi wytwórca energii MFW zapewnia ekspertyzę nawigacyjną w zakresie oceny wpływu morskiej farmy wiatrowej i zespołu urządzeń na bezpieczeństwo i efektywność żeglugi statków w polskich obszarach morskich. Wymóg sporządzania rzeczowej ekspertyzy nawigacyjnej nałożony został na inwestora już w treści decyzji ministra ds. gospodarki morskiej, wydającego pozwolenie na wznoszenie i wykorzystywanie sztucznych wysp dla przedsięwzięć morskich farm wiatrowych (tzw. pozwolenie PSZW).

Ekspertyza nawigacyjna jest zatem najważniejszym dokumentem, który zapewnia inwestor na długo przed rozpoczęciem fazy realizacji swojej inwestycji, z punktu widzenia wpływu MFW na bezpieczeństwo żeglugi. W dokumencie tym zespół ekspertów przeprowadza analizę zagrożeń dla żeglugi statków w polskich obszarach, wywołanych budową oraz dalszą eksploatacją danego przedsięwzięcia.

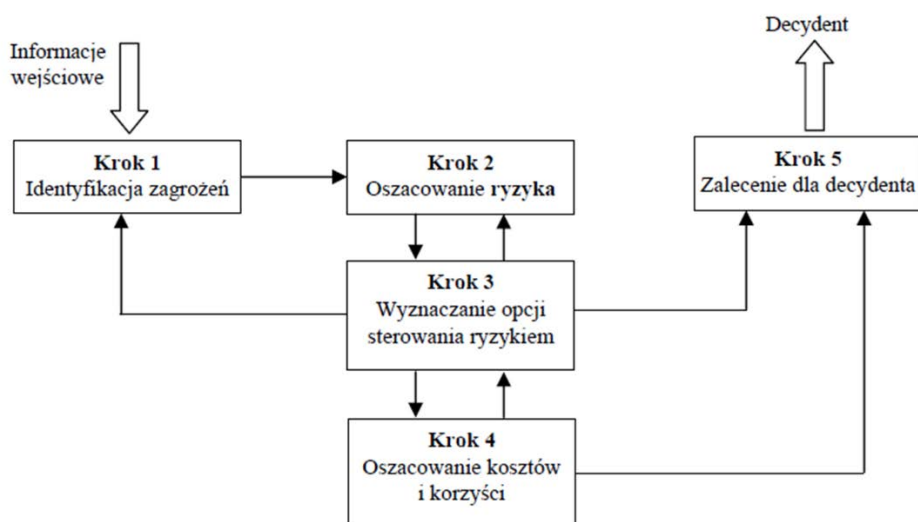
Na podstawie analizy nawigacyjnej należy w ekspertyzie przedstawić sposoby i środki kompensacji negatywnego wpływu morskiej farmy wiatrowej na bezpieczeństwo żeglugi. Chodzi tutaj o szczegółowe przedstawienie sposobów

przeciwdziałania zagrożeniom, które będą zastosowane w przypadku konkretnej inwestycji.

Kluczową częścią ekspertyzy nawigacyjnej jest tzw. formalna ocena bezpieczeństwa (ang. *Formal Safety Assessment* – FSA). Ocena ta powinna zostać przeprowadzona w zakresie, będącym przedmiotem ekspertyzy nawigacyjnej zgodnie z metodologią i zaleceniami opracowanymi przez Międzynarodową Organizację Morską lub innymi powszechnie przyjętymi standardami międzynarodowymi [6]. Zasadniczym celem przeprowadzenia formalnej oceny bezpieczeństwa jest identyfikacja i określenie poziomu ryzyka nawigacyjnego oraz, co za tym idzie, możliwość skutecznego zarządzania tym ryzykiem.

Zgodnie z wytycznymi FSA proces oceny bezpieczeństwa podzielono na następujące etapy:

1. Identyfikacja rodzajów i źródeł zagrożeń.
2. Analiza ryzyka.
3. Identyfikacja sposobów kontroli ryzyk.
4. Ocena kosztów i korzyści.
5. Opracowanie zaleceń i środków minimalizujących ryzyko i skutki jego wystąpienia.



Rys. 10. Algorytm stosowany w metodzie FSA

Źródło: PRS [6].

Identyfikacja zagrożeń polega na opracowaniu zestawienia najpoważniejszych zdarzeń wraz z określeniem ich przyczyn. Należy również przeanalizować konsekwencje, jakie mogą pojawić się w ich następstwie. Oczywiście jest, że pojawienie się farm wiatrowych na morzu stwarza bezpośrednie zagrożenie kolizyjne, co może nieść ze sobą poważne skutki w postaci śmierci lub trwałego kalectwa ludzi czy też zanieczyszczeń środowiska [2]. Oszacowanie ryzyka polega na wyznaczeniu jakościowego lub ilościowego ryzyka wypadków, a następnie ocenie z zastosowaniem tzw. macierzy ryzyka. Wymaga to oszacowania wartości częstotliwości wystąpienia niepożądanych zdarzeń, jak również prawdopodobieństwa ich wystąpienia oraz związanych z nim konsekwencji.

W kolejnym kroku należy przeanalizować możliwe do zastosowania metody kontroli ryzyka, biorąc pod uwagę wysokość poziomu ryzyka, prawdopodobieństwo wystąpienia wypadku oraz poziom ciężkości konsekwencji wypadku. Następnie analizujący poddaje analizie koszty zastosowania poszczególnych metod redukcji oraz korzyści, które będzie można uzyskać z danej opcji sterowania ryzykiem. Końcowym krokiem analizy jest opracowanie zaleceń, dotyczących środków minimalizujących ryzyko i skutki jego wystąpienia.

Jak wspomniano wcześniej, najczęściej analizowanym przykładem niepożądanego zdarzenia w rejonie morskich farm wiatrowych jest niezamierzone wejście statku w rejon zamknięty dla żeglugi i w następstwie tego kolizja statku z konstrukcją elektrowni wiatrowej. Innym rodzajem wypadku może być celowe wejście statków w rejon farmy, np. jednostki rekreacyjnej lub statku rybackiego zajętego połowem [26]. Do zderzenia może wówczas dojść z powodu braku wystarczającej przestrzeni manewrowej, wynikającego z obecności konstrukcji turbin. Akwen przeznaczony pod instalacje elektrowni wiatrowych będzie ograniczony dla żeglugi, stanowiąc przeszkodę nawigacyjną [26]. Statki będą zmuszone omijać w odpowiedniej odległości obszar elektrowni wiatrowych. Dodatkowo w czasie budowy w rejonie farmy operować będzie duża liczba jednostek zaangażowanych w proces instalacji.

Zazwyczaj do niebezpiecznych zdarzeń przyczyniają się również niekorzystne warunki pogodowe, np. pogorszona widzialność. Wypadek może być również spowodowany błędem technicznym, czyli np. awarią urządzeń nawigacyjnych statku lub też błędem ludzkim, wynikającym z niewłaściwego wyszkolenia, zmęczenia lub zaniedbania załogi statku [26]. Podobnie zdarzenie takie jak kolizja dotyczyć może również statków serwisowych lub konstrukcyjnych MFW, głównie ze względu na duże zagęszczenie tych jednostek na niewielkim obszarze.

Inną przyczyną kolizji może być niewłaściwe oznakowanie konstrukcji turbin czy stacji elektroenergetycznej lub brak umieszczenia informacji o ich lokalizacji w publikacjach nautycznych, co również skutkować może niezamierzonymi, poważnymi konsekwencjami dla bezpieczeństwa żeglugi.

Osobną kategorią przyczyn zagrożeń dla bezpiecznej żeglugi w rejonie powstawania konstrukcji MFW są zjawiska, wpływające na systemy łączności radiowej oraz statkowe systemy radarowe. Występowanie zjawisk, takich jak np. fałszywe echa radarowe, może znacznie utrudniać obserwację, co w przypadku dużego natężenia ruchu w rejonie farmy wiatrowej może prowadzić do niebezpiecznych sytuacji [19].

Elektrownie wiatrowe są to konstrukcje stalowe o wysokościach dochodzących do kilkuset metrów, stanowiące fizyczne przeszkody potencjalnie zakłócające propagację fal radiowych od brzegowych stacji VHF. Przewiduje się występowanie zjawisk takich, jak interferencje w systemach łączności VHF, uniemożliwiające ich właściwe funkcjonowanie. Ten potencjalnie negatywny wpływ powinien również być poddany wnikliwej ocenie na podstawie analiz przeprowadzonych w tzw. ekspertyzach technicznych. Wyniki dotychczas przeprowadzonych analiz, których celem było sprawdzenie, czy i w jakim zakresie budowane morskie farmy wiatrowe będą negatywnie oddziaływać na systemy łączności i nawigacji morskiej, wskazują na konieczność zastosowania środków minimalizujących te zagrożenia.

Ustawa o bezpieczeństwie morskim nakłada na inwestora obowiązek sporządzenia dwóch takich ekspertyz technicznych, dotyczących wpływu przedsięwzięcia na systemy łączności GMDSS i SAR oraz na Krajowy System Bezpieczeństwa Morskiego [14]. W przypadku stwierdzenia, że inwestycja polegająca na budowie morskiej farmy wiatrowej faktycznie będzie zaburzać prawidłowe funkcjonowanie tych systemów, konieczne będzie zastosowanie przez inwestora odpowiednich środków kompensujących.

Dodatkowo, takie same działania powinny zostać przeprowadzone w zakresie oceny wpływu MFW na systemy obronności państwa oraz na system ochrony granicy państwowej na morzu. Niezbędne jest opracowanie ekspertyz, których zakres został uregulowany w Rozporządzeniu Ministra Obrony Narodowej, określających sposoby i środki kompensacji negatywnego wpływu na te systemy [16].

3.3. Sposoby minimalizacji ryzyka dla bezpieczeństwa żeglugi

Biorąc pod uwagę obszary, na które oddziałuje transport morski, jak również potencjalne skutki niepożądanych zdarzeń, bezpieczeństwo morskie można określić jako stan, w którym zagrożenie dla zdrowia i życia ludzkiego, mienia i środowiska morskiego nie przekracza akceptowanego poziomu ryzyka. Analiza oceny wpływu morskich elektrowni wiatrowych na bezpieczeństwo żeglugi, zgodnie z opisaną w poprzednim podrozdziale formalną oceną bezpieczeństwa, powinna zawierać identyfikację zagrożeń oraz ocenę ich prawdopodobieństwa i konsekwencje, ale także dyskusję na temat niepewności i wrażliwości modeli przyjętych na potrzeby analizy [5].

Obecnie w coraz większym stopniu czynnikiem wpływającym na bezpieczeństwo morskie staje się działalność terrorystyczna na morzu [8]. Ze względu na złożoność oraz obszerność tematyki działań celowych, stanowiących potencjalnie ogromne w skutkach konsekwencje nie tyle dla samej nawigacji, ale dla obronności i bezpieczeństwa energetycznego całego państwa, wymagałyby one osobnego opracowania, stąd zostały tutaj jedynie zasygnalizowane.

Aby zatem przeciwdziałać zagrożeniom dla bezpieczeństwa żeglugi, należy wprowadzać środki i stosować działania, dzięki którym możliwe będzie skuteczne zapobieganie zarówno wszelkim zdarzeniom niezamierzonym, jak i celowym działaniom, skutkującym ofiarami lub urazami, utratą lub zniszczeniem majątku bądź też szkodami w środowisku naturalnym.

Przepisy z zakresu bezpieczeństwa żeglugi, dotyczące bezpośrednio morskich farm wiatrowych, powstających w polskich obszarach morskich, ujęte są w rozdziale 5a Ustawy o bezpieczeństwie morskim, zatytułowanym „Bezpieczeństwo eksploatacji morskich farm wiatrowych” [22]. Zgodnie z jego brzmieniem konstrukcje morskich farm wiatrowych należy budować i eksploatować z zapewnieniem bezpieczeństwa żeglugi. Warunek ten dotyczy m.in. wymaganych odległości konstrukcji i kabli od istniejących tras żeglugowych, które zostały również określone w decyzjach PSZW.

Wszystkie działania, mające na celu ograniczenie negatywnego wpływu na bezpieczeństwo żeglugi, wynikające z powstania farm wiatrowych na morzu, są bardzo mocno zróżnicowane. Różnią się przede wszystkim w zależności od stopnia zaawansowania realizacji inwestycji, jednak zdecydowana większość środków mitygujących ryzyka dla bezpieczeństwa żeglugi powinna być zaplanowana przez inwestorów jeszcze na etapie projektowym przedsięwzięcia.

Jak wynika z doświadczeń przy budowie i eksploatacji innych farm wiatrowych na wodach europejskich, wypadki zdarzają się pomimo wielu działań zapobiegawczych. Dzięki zbieraniu informacji o wszystkich tego typu zdarzeniach, ich dogłębnej analizie oraz ocenie ryzyka można opracować rozwiązania mające na celu zmniejszenie tychże zagrożeń [2].

Zdecydowana większość wymagań, związanych z procesem minimalizowania zagrożeń, wynika z określonych przepisów prawa zarówno krajowego, jak i międzynarodowego. Jednocześnie często spotykaną praktyką jest, że inwestorzy planują działania zapobiegawcze znacznie wykraczające poza minimalne wymagania, ściśle dopasowane do swoich inwestycji, ze względu na zupełnie zrozumiałą potrzebę zapewnienia ochrony swoich przedsięwzięć przed niepożądanymi zdarzeniami, wynikającymi z negatywnego wpływu na żeglugę. Niezależnie jednak od rodzaju, przedsięwzięcia zmierzające do zapewnienia bezpieczeństwa żeglugi powinny być podejmowane przez inwestora we współpracy z administracją morską.

Bardzo trudno opisać całościowo proces, mający na celu minimalizowanie wszystkich wyzwań i zagrożeń na akwenach morskich w odniesieniu do powstawania morskich farm wiatrowych. Nie istnieją międzynarodowe standardy akceptacji zagrożeń bezpieczeństwa żeglugi, które miałyby zastosowanie przy analizie wpływu elektrowni wiatrowych na nawigację [5]. Nie sposób zebrać i scharakteryzować na łamach tego opracowania wszystkich środków, służących do minimalizacji ryzyka dla żeglugi. Każdy z nich uwarunkowany jest szeregiem szczegółowych przepisów i nierzadko wiąże się z koniecznością uzyskiwania dodatkowych uzgodnień na kolejnych etapach realizacji inwestycji. Niektóre z opisanych zaleceń są efektem dyskusji odbytych podczas licznych spotkań inwestorów oraz przedstawicieli środowiska *offshore* z organami administracji morskiej i służbami odpowiedzialnymi za bezpieczeństwo morskie państwa.

Poniższe zestawienie stanowi próbę przedstawienia i krótkiej charakterystyki najważniejszych z nich, zintegrowanych na podstawie dotychczasowego przebiegu realizacji procesów inwestycyjnych i bieżących kwestii bezpieczeństwa żeglugi w rejonach MFW.

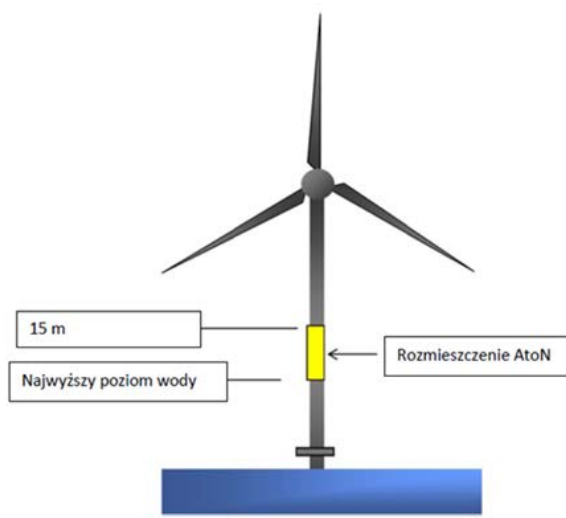
- Zachowanie bezpiecznej odległości konstrukcji MFW od przebiegających w ich pobliżu zwyczajowych tras żeglugowych. Zgodnie z wcześniejszymi informacjami warunek ten pojawiał się już w treści decyzji PSZW, uzyskiwanych przez inwestorów. Zazwyczaj wymaga się rozmieszczenia konstrukcji MFW w odległości nie mniejszej niż 2 mile morskie od istniejących tras żeglugowych.
- Zapewnienie przez inwestora obecności w rejonie swojego przedsięwzięcia statków dozorujących (ang. *guard vessel*). Podstawowym zadaniem tych

jednostek będzie dozór i ochrona obszaru budowy, polegająca na bieżącym reagowaniu na sytuacje, związane z niepożądanym ruchem statków handlowych i rekreacyjnych w pobliżu pracujących na MFW statków instalacyjnych czy serwisowych, ale również przed jednostkami przechodzącymi w pobliżu, które z niezamierzonych przyczyn mogą znaleźć się w niebezpiecznie bliskiej odległości od konstrukcji MFW. Reagowanie będzie polegało na wywoływaniu radiowym jednostek przepływających w pobliżu farmy w celu ostrzegania bądź przekazywania informacji, dotyczących m.in. sugerowanej zmiany kursu w celu zachowania bezpiecznej odległości od obiektów MFW.

- Utworzenie przez inwestorów centrów operacyjno-serwisowych do obsługi MFW, które będą pełniły rolę ośrodka koordynacji żeglugi (ang. *Marine Coordination Center*) oraz punktu kontaktowego do współpracy z administracją morską, służbami VTS czy Marynarką Wojenną, w szczególności z Biurem Hydrograficznym MW. Dodatkowo inwestorzy przewidują wyposażenie centrum obsługi farmy wiatrowej w systemy nadzoru bezpieczeństwa żeglugi w rejonie swojego przedsięwzięcia.
- Opracowanie planów bezpieczeństwa żeglugi dla etapu budowy MFW oraz przedstawienie dyrektorowi urzędu morskiego szczegółowego harmonogramu prac budowlanych. Konieczne jest bieżące informowanie administracji oraz właściwych służb na temat jednostek pływających i sprzętu specjalistycznego zaangażowanego w prace w celu m.in. umożliwienia zapewnienia bezpieczeństwa i płynności ruchu statków w rejonie prowadzenia prac. Szczegółowy harmonogram prac na etapie budowy MFW, dotyczący aktualnej sytuacji, powinien być przekazywany co najmniej 1 raz w tygodniu.
- Zapewnienie rozpowszechniania z odpowiednim wyprzedzeniem wszelkich informacji, dotyczących bezpieczeństwa żeglugi, związanych z działalnością konstrukcyjną za pośrednictwem wydawanych przez BHMW ostrzeżeń nawigacyjnych oraz umieszczania informacji w cotygodniowych „Wiadomościach Żeglarskich”.
- Odpowiednie oznakowanie i oświetlenie obszaru MFW oraz wyposażenie poszczególnych konstrukcji farmy we właściwe urządzenia, stanowiące tzw. pomoce nawigacyjne. Wytyczne w tym zakresie określone zostały w zaleceniach Morskiego Systemu Oznakowania IALA – *Guideline G1162. The Marking of Man-Made Offshore Structures* [3]. Znajdują się również w Załączniku do Rozporządzenia w sprawie oznakowania nawigacyjnego polskich obszarów morskich [18]. Właściwe, zgodne z obowiązującymi przepisami, oznakowanie nawigacyjne morskich farm wiatrowych zarówno na etapie budowy, jak

i eksploatacji, ma kluczowe znaczenie dla zachowania bezpieczeństwa żeglugi na omawianym akwenie i na akwenach przyległych [26].

- Opracowanie szczegółowych procedur postępowania na wypadek natrafienia podczas prac budowlanych na zalegające na dnie morskim niewybuchy lub bojowe środki trujące. Dodatkowo niezbędne jest wcześniejsze zawarcie porozumień o współpracy z podmiotami profesjonalnie zajmującymi się wykrywaniem i neutralizacją tego typu obiektów.
- Utworzenie strefy bezpieczeństwa wokół konstrukcji MFW z ograniczeniami, dotyczącymi żeglugi i rybołówstwa. Jest to jeden z kluczowych sposobów zapewnienia bezpieczeństwa żeglugi w rejonach, gdzie zlokalizowane będą morskie farmy wiatrowe. Prawo ustanowienia takiej strefy przez państwo nadbrzeżne określa artykuł 60 Konwencji UNCLOS [4], a w polskim prawodawstwie – Ustawa o obszarach morskich [21]. Strefy te powinny być wyznaczane w taki sposób, aby były rozsądnie dostosowane do rodzaju i przeznaczenia sztucznych wysp, instalacji i konstrukcji i aby nie przekraczały wokół nich odległości 500 metrów mierzonych od każdego punktu ich zewnętrznych krańców. Dyrektor urzędu morskiego określa warunki poruszania się w obszarze strefy bezpieczeństwa, w szczególności może wprowadzić ograniczenia żeglugi, rybołówstwa, uprawiania sportów wodnych lub nurkowych tudzież prac podwodnych [21].



Rys. 11. Przykładowe oznakowanie pojedynczej elektrowni wiatrowej

Źródło: IALA Recommendation 0-139 [3].

Wszystkie wymienione środki i działania, mające minimalizować negatywny wpływ infrastruktury morskich farm wiatrowych na bezpieczeństwo żeglugi, stanowią jedynie zwięzły opis najważniejszych założeń i próbę scharakteryzowania zagrożeń dla bezpieczeństwa żeglugi. Każdy z powyższych sposobów i środków, niezbędnych w celu zmiętygowania negatywnego wpływu morskich farm wiatrowych na żeglugę, mógłby być rozwinięty wieloaspektowo. Tak właśnie dzieje się na różnych etapach realizacji inwestycji, zarówno przy sporządzaniu wymaganych przez administrację morską dokumentacji (np. plan bezpieczeństwa żeglugi dla MFW), jak i przy uzgadnianiu rodzaju ograniczeń dla żeglugi i zasad poruszania się w strefie bezpieczeństwa wokół MFW czy wreszcie przy określaniu sposobu oznakowania konstrukcji turbin.

Przy zachowaniu należytej staranności i właściwym podejściu wszystkich zaangażowanych stron oraz przy przestrzeganiu obowiązujących przepisów można mieć pewność, że proces rozwoju morskiej energetyki wiatrowej w polskich obszarach morskich zostanie przeprowadzony w sposób jak najmniej zagrażający bezpieczeństwu żeglugi w polskich obszarach Morza Bałtyckiego.

BIBLIOGRAFIA

1. *HELCOM report on Shipping accidents in the Baltic Sea 2020*, HELCOM 2021.
2. Herdzik J., *Zagrożenia dla żeglugi od morskich farm wiatrowych*, Autobusy: technika, eksploatacja, systemy transportowe, 2018, nr 10, Instytut Naukowo-Wydawniczy "SPATIUM". sp. z o.o., Radom.
3. *IALA Recommendation O-139 on the Marking of Man-Made Offshore Structures Ed2*, Association Internationale de Signalisation Maritime IALA, Saint Germain en Laye, 2013.
4. *Konwencja Narodów Zjednoczonych o prawie morza UNCLOS*, Montego Bay, 10 grudnia 1982.
5. Makowski M., *Problemy prawne lokalizacji i budowy elektrowni wiatrowych w obszarach morskich Rzeczypospolitej Polskiej*, Prawo Morskie, 2011, t. XXVII, Gdańsk.
6. *Metodyka formalnej oceny bezpieczeństwa żeglugi (FSA)*, PRS, nr 19/I, Polski Rejestr Statków S.A., Gdańsk 2002.
7. *Międzynarodowe przepisy o zapobieganiu zderzeniom na morzu*, International Maritime Organization IMO, COLREG 1972, Londyn 1972.

8. Miętkiewicz R., *Morskie farmy wiatrowe a bezpieczeństwo morskie państwa*, Sprawy Międzynarodowe, 2019, t. 72, nr 1, Warszawa.
9. *New and Amended Existing Traffic Separation Schemes. Annex 2. New Traffic Separation Scheme "Ślupska Bank"*, International Maritime Organization IMO, COLREG.2/Circ.61, Londyn 2010.
10. Pilip K., Ślęczka W., *Wpływ projektowanych farm wiatrowych na trasy żeglugowe na południowym Bałtyku*, TTS Technika Transportu Szynowego, 2015, nr 12, Instytut Naukowo-Wydawniczy "TTS" Sp. z o.o., Radom.
11. Pilip K., Ślęczka W., Matuszak Z., *Lokalizacja farm wiatrowych na polskich obszarach morskich*, Systemy Wspomagania w Inżynierii Produkcji, 2018, nr 7(1), Warszawa.
12. Porozumienie sektorowe z dnia 15 września 2021 r. na rzecz rozwoju morskiej energetyki wiatrowej w Polsce, Warszawa 2021.
13. Rozporządzenie Ministra Gospodarki Morskiej i Żeglugi Śródlądowej z dnia 15 stycznia 2020 r. w sprawie zniesienia Urzędu Morskiego w Ślupsku, DzU z 2020 r., poz. 91, Warszawa 2020.
14. Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 15 grudnia 2021 r. w sprawie ekspertyzy nawigacyjnej i ekspertyz technicznych dla morskiej farmy wiatrowej i zespołu urządzeń, DzU z 2021 r., poz. 2380, Warszawa 2021.
15. Rozporządzenie Ministra Klimatu i Środowiska z dnia 25 maja 2022 r. w sprawie szczegółowych wymagań dla elementów zespołu urządzeń służących do wyprowadzenia mocy oraz dla elementów stacji elektroenergetycznych zlokalizowanych na morzu, DzU z 2022 r., poz. 1257.
16. Rozporządzenie Ministra Obrony Narodowej z dnia 10 października 2022 r. w sprawie szczegółowego zakresu ekspertyz technicznych w zakresie oceny wpływu morskiej farmy wiatrowej i zespołu urządzeń służących do wyprowadzenia mocy na systemy obronności państwa oraz na system ochrony granicy państwowej na morzu, DzU z 2022 r., poz. 2115, Warszawa 2022.
17. Rozporządzenie Ministra Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej z dnia 4 grudnia 2012 r. w sprawie Narodowego Systemu Monitorowania Ruchu Statków i Przekazywania Informacji, DzU z 2012 r., poz. 1412.
18. Rozporządzenie Ministra Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej z dnia 4 grudnia 2012 r. w sprawie oznakowania nawigacyjnego polskich obszarów morskich, DzU z 2013 r., poz. 57, Warszawa 2013.
19. Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 14 kwietnia 2021 r. w sprawie przyjęcia planu zagospodarowania przestrzennego morskich wód wewnętrznych, morza terytorialnego i wyłącznej strefy ekonomicznej w skali 1:200 000, DzU z 2021 r., poz. 935, Warszawa 2021.

20. Stupak T., Wawruch R., *Wpływ zakłóceń generowanych przez farmy elektrowni wiatrowych na pracę radarów statkowych i układów śledzenia*, Logistyka, 2010, nr 6, Poznań.
21. Ustawa z dnia 21 marca 1991 r. o obszarach morskich i administracji morskiej, DzU z1991 r., nr 32, poz. 131, Warszawa 2024.
22. Ustawa z dnia 18 sierpnia 2011 r. o bezpieczeństwie morskim, DzU z 2011 r., nr 228, poz. 1368, Warszawa 2021.
23. Ustawa z dnia 17 grudnia 2020 r. o promowaniu wytwarzania energii elektrycznej w morskich farmach wiatrowych, DzU z 2021 r., poz. 234, Warszawa 2021.
24. Wawruch R., *Krajowy System Bezpieczeństwa Morskiego (KSBM) jako infrastruktura techniczna Narodowego Systemu SafeSeaNet*, Zeszyty Naukowe Akademii Morskiej w Gdyni, 2016, nr 97, Gdynia.
25. Zarządzenie wewnętrzne nr 15 Dyrektora Urzędu Morskiego w Gdyni z dnia 28 marca 2024 r. w sprawie wydania regulaminu organizacji i funkcjonowania Służb Kontroli Ruchu Statków w Urzędzie Morskim w Gdyni, Urząd Morski w Gdyni, Gdynia 2024.

Źródła internetowe

26. Gucma L., Materac M., *Wpływ lokalizacji morskich elektrowni wiatrowych na bezpieczeństwo żeglugi*, Centrum Informacji o Rynku Energii CIRE.pl, Zielona Gospodarka, <http://www.elektrownie-wiatrowe.org.pl>, <https://www.cire.pl/publikacje/bezzeg.pdf> (dostęp 03.02.2025).
27. www.umgdy.gov.pl.
28. Zarządzenie Porządkowe nr 4 Dyrektora Urzędu Morskiego w Gdyni z dnia 24 maja 2021 r. w sprawie zmiany obszaru działania i zadań Służby Kontroli Ruchu Statków VTS Ławica Słupska, Dz. Urz. Woj. Pomorskiego, poz. 1989, Gdańsk 2021, https://edziennik.gdansk.uw.gov.pl/WDU_G/2021/1989/akt.pdf (dostęp 03.02.2025).
29. Zarządzenie Porządkowe nr 11 Dyrektora Urzędu Morskiego w Gdyni z dnia 17 maja 2023 r. Przepisy Służby Kontroli Ruchu Statków (Służby VTS), Dz. Urz. Woj. Pomorskiego, poz. 2397, Gdańsk 2023, http://edziennik.gdansk.uw.gov.pl/WDU_G/2023/2397/akt.pdf (dostęp 03.02.2025).



Marta Kafarska – absolwentka inżynierii ruchu morskiego na Wydziale Nawigacyjnym Wyższej Szkoły Morskiej w Szczecinie oraz Politechniki Szczecińskiej na kierunku *Logistyka i zarządzanie w transporcie wodnym*. Zawodowo związana z nadzorem nad ruchem statków i bezpieczeństwem żeglugi jako operator systemów VTS (VTMS Szczecin – Świnoujście oraz VTS Zatoka Gdańska). Pełniła rolę administratora narodowego systemu monitorowania ruchu statków i przekazywania informacji w Inspektoracie Nadzoru i Monitorowania Bezpieczeństwa Ruchu Morskiego w Urzędzie Morskim w Gdyni. Wiedzę z zakresu morskiego planowania przestrzennego zdobywała na Wydziale Prawa i Administracji Uniwersytetu Gdańskiego oraz w World

Maritime University w Malmö. Ukończyła studia podyplomowe w dziedzinie morskiej energetyki wiatrowej na Politechnice Gdańskiej. Od 2021 roku jest głównym specjalistą w zespole ds. morskiej energetyki wiatrowej, a obecnie w Biurze ds. Morskiej Energetyki Wiatrowej Urzędu Morskiego w Gdyni, gdzie realizuje zadania związane z rozwojem sektora morskiej energetyki wiatrowej w polskich obszarach morskich.

Artur KOŃCZAL, Konrad WRÓBEL

Rozdział 4

INFRASTRUKTURA KRYTYCZNA W ENERGETYCE – ZARZĄDZANIE RYZYKIEM W ZAKRESIE OCHRONY INFRASTRUKTURY KRYTYCZNEJ W ENERGETYCE W ŚWIETLE WŁĄCZENIA DO NIEJ MORSKICH FARM WIATROWYCH (MFW)

WSTĘP

Dynamiczne zmiany w sytuacji międzynarodowej, w tym trwająca nieprzerwanie od ponad dwóch lat wojna w Ukrainie, powodują, że jesteśmy świadkami ataków na newralgiczne obiekty, obejmujące systemy zaopatrzenia w energię, w wodę, surowce energetyczne i paliwa, rurociągi, sieci teleinformatyczne, czy też instytucje bankowe, które stają się skutecznym narzędziem wpływania na bezpieczeństwo, zarówno w czasie konfliktu, jak i pokoju [2].

W sposób szczególny dotyczy to również morskiej infrastruktury krytycznej, na którą składa się infrastruktura portowa, szeroko pojmowana infrastruktura offshorowa (platformy wydobywcze, morskie farmy wiatrowe) jak i infrastruktura podwodna (rurociągi, gazociągi, kable energetyczne czy też kable zapewniające łączność międzynarodową). Spektakularny wybuch i uszkodzenie na skutek sabotażu gazociągów Nord Stream 1 i 2, spowodowały wzrost zainteresowania ochroną i obroną infrastruktury, określanej mianem krytycznej (IK). Zwiększyło to świadomość użytkowników i operatorów ww. infrastruktury, w zakresie faktu bycia celem potencjalnego ataku czy to terrorystycznego czy też stricte wojskowego (w tym działań hybrydowych).



Rys. 1. Domena morska IK

Źródło: https://www.nato.int/cps/en/natohq/news_225582.htm.

2. IK A RYZYKO – WPROWADZENIE W POJĘCIA

Sama infrastruktura krytyczna (szeroko pojęta) definiowana jest w polskim prawie, tj. w Ustawie z dnia 26 kwietnia 2007 roku o zarządzaniu kryzysowym, jako „systemy oraz wchodzące w ich skład powiązane ze sobą funkcjonalnie obiekty, w tym obiekty budowlane, urządzenia, instalacje, usługi kluczowe dla bezpieczeństwa państwa i jego obywateli oraz służące zapewnieniu sprawnego funkcjonowania organów administracji publicznej, a także instytucji i przedsiębiorców” [6].

Co również ważne, rozciąga się do terytorium UE, wprowadzając definicję europejskiej infrastruktury krytycznej, jeżeli zakłócenie, zniszczenie ww. infrastruktury oddziaływałoby na co najmniej dwa państwa członkowskie (rys. 2).

Narodowy Program Ochrony Infrastruktury Krytycznej	
WYKAZ MINISTRÓW ODPOWIEDZIALNYCH ZA POSZCZEGÓLNE SYSTEMY INFRASTRUKTURY KRYTYCZNEJ ¹	
Systemy infrastruktury krytycznej	Minister odpowiedzialny za system infrastruktury krytycznej
System zaopatrzenia w energię, surowce energetyczne i paliwa	minister właściwy do spraw aktywów państwowych minister właściwy do spraw energii minister właściwy do spraw gospodarki złożami kopalin
System łączności	minister właściwy do spraw informatyzacji minister właściwy do spraw łączności
System sieci teleinformatycznych	minister właściwy do spraw informatyzacji
System finansowy	minister właściwy do spraw budżetu minister właściwy do spraw finansów publicznych minister właściwy do spraw instytucji finansowych
System zaopatrzenia w żywność	minister właściwy do spraw rolnictwa minister właściwy do spraw rynków rolnych
System zaopatrzenia w wodę	minister właściwy do spraw gospodarki wodnej
System ochrony zdrowia	minister właściwy do spraw zdrowia
System transportowy	minister właściwy do spraw transportu minister właściwy do spraw gospodarki morskiej
System ratowniczy	minister właściwy do spraw wewnętrznych
System zapewniający ciągłość działania administracji publicznej	minister właściwy do spraw informatyzacji
System produkcji, składowania, przechowywania i stosowania substancji chemicznych i promieniotwórczych, w tym rurociągi substancji niebezpiecznych	minister właściwy do spraw klimatu

Rys. 2. Narodowy Program Ochrony Infrastruktury Krytycznej – wykaz ministrów odpowiedzialnych za poszczególne systemy IK¹

Źródło: Narodowy Program Ochrony Infrastruktury Krytycznej – tekst jednolity, 2023.

¹ Wykaz zmieniony uchwałą Rady Ministrów nr 116/2020 z dnia 13 sierpnia 2020 r. zmieniającą uchwałę w sprawie przyjęcia narodowego Programu Ochrony Infrastruktury Krytycznej.

Nadto ww. ustawa poprzez Narodowy Program Ochrony Infrastruktury Krytycznej nakłada na operatora takiej infrastruktury obowiązek sporządzenia min. **planu ochrony IK**, który jest podstawowym dokumentem potwierdzającym spełnienie przez operatora obowiązku ochrony IK, o którym mowa w art. 6 ust. 5 ustawy o zarządzaniu kryzysowym. Plan jest ilustracją nakładu pracy włożonej w przygotowanie i wdrożenie ochrony IK. Poprawnie przeprowadzony proces planowania podnosi zdolność organizacji do identyfikacji i zmniejszania podatności, przeciwdziałania zagrożeniom, reakcji na nie oraz minimalizacji skutków ich wystąpienia. Cytując zapisy ww. regulacji, kluczowe dla operatora IK:

„Art. 6. zarz. Kryzys – Zadania z zakresu ochrony infrastruktury krytycznej.

5. Właściciele oraz posiadacze samoistni i zależni obiektów, instalacji lub urządzeń infrastruktury krytycznej mają obowiązek ich ochrony, w szczególności przez przygotowanie i wdrażanie, stosownie do przewidywanych zagrożeń, planów ochrony infrastruktury krytycznej oraz utrzymywanie własnych systemów rezerwowych zapewniających bezpieczeństwo i podtrzymujących funkcjonowanie tej infrastruktury, do czasu jej pełnego odtworzenia.

5a. Właściciele, posiadacze samoistni i zależni, o których mowa w ust. 5, mają obowiązek wyznaczyć, w terminie 30 dni od dnia otrzymania informacji, o której mowa w art. 5b Narodowy Program Ochrony Infrastruktury Krytycznej ust. 7 pkt 4, osobę odpowiedzialną za utrzymywanie kontaktów z podmiotami właściwymi w zakresie ochrony infrastruktury krytycznej.

5b. Właściciele, posiadacze samoistni i zależni, o których mowa w ust. 5, będący jednocześnie operatorami usług kluczowych w rozumieniu ustawy z dnia 5 lipca 2018 r. o krajowym systemie cyberbezpieczeństwa (DzU z 2022 r., poz. 1863), uwzględniają w planach ochrony infrastruktury krytycznej dokumentację dotyczącą cyberbezpieczeństwa systemów informacyjnych wykorzystywanych do świadczenia usług kluczowych zgodnie z zakresem informacji określonym w przepisach wydanych na podstawie art. 10 ust. 5 ustawy z dnia 5 lipca 2018 r. o krajowym systemie cyberbezpieczeństwa”.

3. WIELOZNACZNOŚĆ INFRASTRUKTURY KRYTYCZNEJ

Infrastruktura krytyczna, szczególnie zaś energetyczna, pełni zasadniczą rolę w funkcjonowaniu państwa i życiu jego obywateli. Jej uszkodzenie, zakłócenie funkcjonowania czy też ostatecznie utrata / zniszczenie, mogą istotnie wpłynąć na zdolność kraju do funkcjonowania poprzez zachwianą gospodarkę czy szeroko

pojęcie bezpieczeństwa narodowe. W związku z tym skuteczne zarządzanie i ochrona infrastruktury krytycznej stają się absolutnym priorytetem, wymagając pełnej współpracy, na wielu poziomach, społeczeństwa i instytucji państwa. Można zatem uznać, że ochrona infrastruktury krytycznej to jedno z najważniejszych zadań dla naszego państwa. Kluczowe tym samym powinny być działania, umożliwiające przeciwdziałanie zagrożeniom, ryzykom oraz pozwalające ograniczać skutki awarii, ataków i innych zakłóceń, a także następczo umożliwiać szybkie przywrócenie jej funkcji (o ile to możliwe) (rys. 3).



Rys. 3. Związek między zagrożeniem, podatnością i skutkami

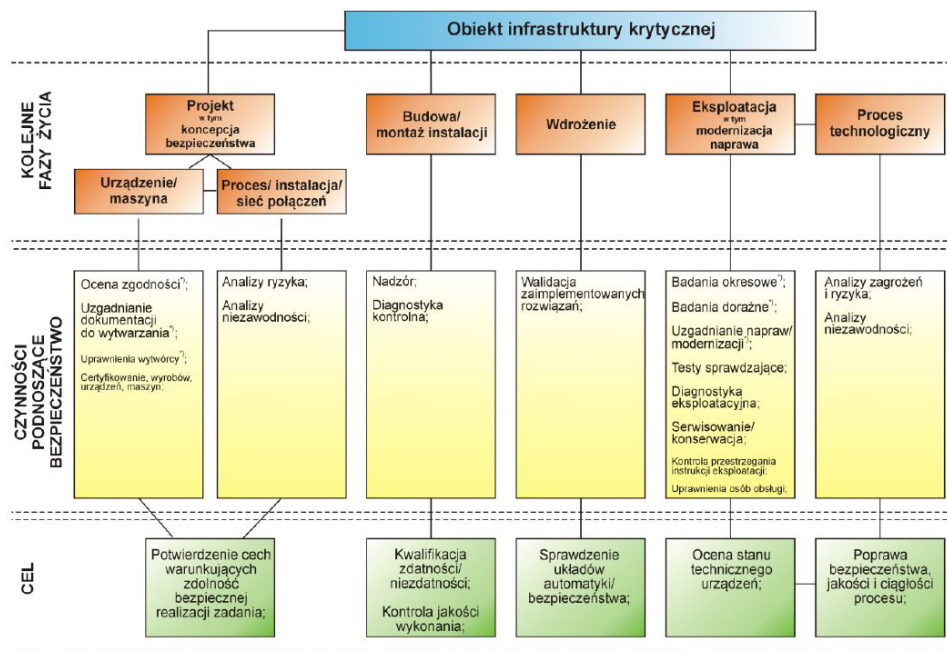
Źródło: Narodowy Program Ochrony Infrastruktury Krytycznej – tekst jednolity, 2023.

Skuteczna ochrona infrastruktury krytycznej jest to zadanie niezwykle złożone, wymagające szerokiego spektrum podejścia, w tym planistycznego, oraz szerokiego rozumienia problemu, którym przychodzi zarządzać. To swoistego rodzaju kombinacja zarówno fizycznej ochrony, jak i cyberbezpieczeństwa oraz skutecznego zarządzania kryzysowego i również współpracy międzynarodowej. Współpraca między sektorem publicznym a prywatnym oraz maksymalne zaangażowanie społeczeństwa są niezbędne do identyfikacji, analizy i zarządzania ryzykiem związanym z infrastrukturą krytyczną.

Biorąc powyższe pod uwagę, kluczowe staje się planowanie ochrony obiektów IK (rys. 4 i 5).

Planowanie ochrony obiektów infrastruktury krytycznej ma na celu opracowanie koncepcji działania, składającej się z:

- analizy zadania i wytycznych;
- oceny obiektu i jego otoczenia;
- analizy i oceny zagrożeń;
- kalkulacji sił i środków;
- oceny zmian w obiekcie.



¹⁾ dotyczy urządzeń podlegających pod dozór techniczny zgodnie z Rozporządzeniem Rady Ministrów z dnia 7 grudnia 2012 r. w sprawie rodzajów urządzeń technicznych podlegających dozorowi technicznemu (Dz. U. 2012 nr 0 poz. 1468), wydanym na podstawie art. 5 ust. 2 ustawy o dozorze technicznym;

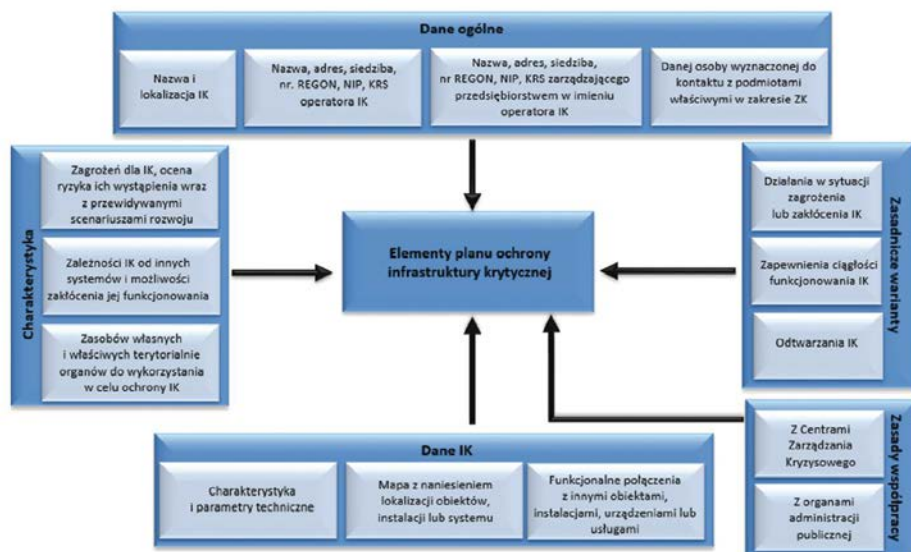
Rys. 4. Objekt infrastruktury krytycznej

Źródło: RCB.

Ochrona IK realizowana jest w sześciu etapach:

1. Sporządzanie wykazu IK – odpowiednie rozpoznanie elementów infrastruktury krytycznej, umożliwiające określenie właściwych działań w celu jej ochrony.
2. Analiza ryzyka zagrożeń dla rozpoznanej IK – identyfikacja, ocena i monitorowanie poziomu ryzyka w celu określenia działań skierowanych na obniżenie jego negatywnego wpływu na funkcjonowanie IK.
3. Opracowanie wykazu sił i środków do ochrony IK – przygotowanie zasobów zapewniających bezpieczeństwo IK.
4. Wyznaczanie działań wykonywanych w sytuacji zagrożenia – opracowanie gotowych instrukcji postępowania w przypadku wystąpienia zagrożeń wynikających z analizy ryzyka.
5. Wyznaczanie działań odtwarzających IK – przygotowanie form współpracy i wsparcia przy odtwarzaniu IK.

6. Przygotowanie kanałów komunikacji – wyznaczenie osób odpowiedzialnych za utrzymywanie kontaktów z właściwymi podmiotami w zakresie ochrony IK.



Rys. 5. Elementy planu ochrony IK

Źródło: Zeszyty Naukowe SGSP w Warszawie, 2021, nr 79.

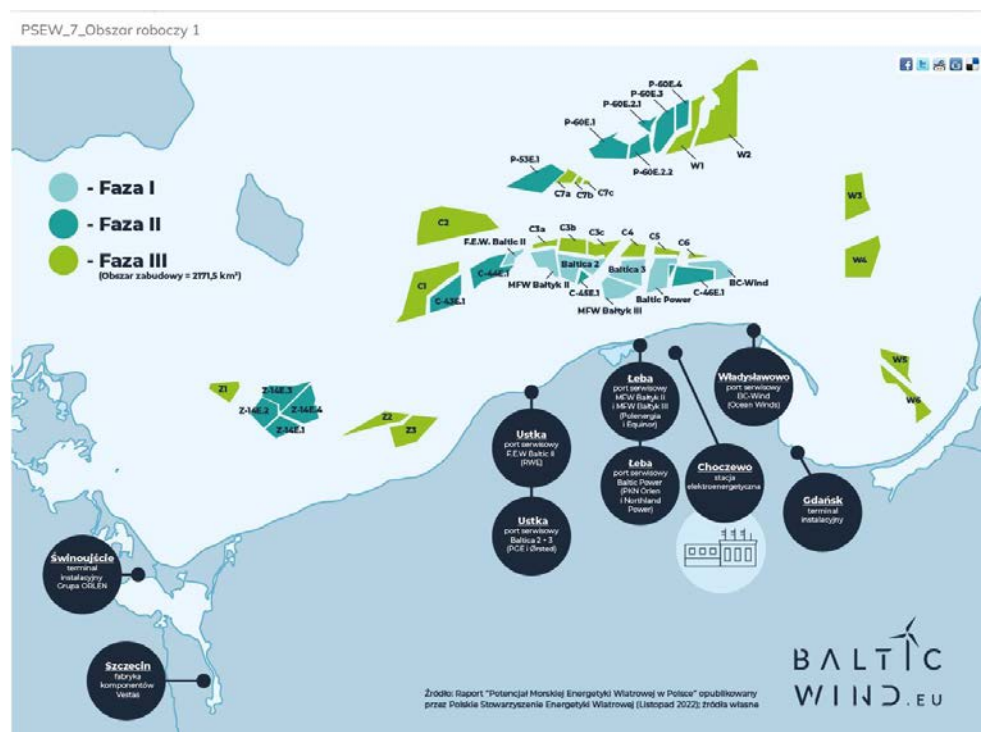
4. MFW JAKO PRZYKŁAD IK

Europa Środkowa jest położona newralgicznie, umożliwia kontrolę nad przepływami handlowymi między Azją a Europą, o czym wspominał m.in. Halford Mackinder, ojciec geopolityki, który stwierdził: „Kto kontroluje tę część Europy, ten panuje nad Euroazją i w ten sposób panuje nad światem”. Jeśliby szukać kluczowego elementu, tworzącego fundament regionu Europy Środkowej, to bez wątpienia jest nim Morze Bałtyckie, które pomimo że jest obszarem niewielkim, jego powierzchnia to około 415 tys. km² i ze względu na śródlądową lokalizację nazywane bywa czasami „Morzem Śródziemnym północnej Europy”, w naszym rozumieniu zaś „stanowi przysłowiowe okno na świat”, dzięki któremu możemy się rozwijać i prowadzić wymianę handlową jako kraj.

Właśnie infrastruktura w postaci portów morskich i terminali specjalistycznych oraz dostęp do światowych morskich szlaków handlowych pozwalają na rozwój

gospodarczy oraz kreują możliwość włączenia się w proces budowania bezpieczeństwa w regionie.

Niezwykle ważnym, wręcz kluczowym aspektem, co ostatnio widać bardzo wyraźnie, jest budowanie bezpieczeństwa energetycznego państwa, szczególnie w dobie dynamicznych zmian w środowisku geopolitycznym [3]. Wykorzystanie nadmorskiego położenia Polski sprzyja dywersyfikacji dostaw surowców strategicznych, jak np. ropy czy gazu oraz w nieodległej przyszłości morskiej energetyce wiatrowej z jej ogromnym bałtyckim rezerwuarem, szacowanym nawet na około 93 GW (rys. 6)².



Rys. 6. Potencjał morskiej energetyki wiatrowej w Polsce

Źródło: Raport „Potencjał Morskiej Energetyki Wiatrowej w Polsce”, PSEW, www.balticwind.eu.

² Rozbudowa Gazoportu w Świnoujściu, gazociąg „Baltic Pipe” oraz planowana budowa pływającego terminalu gazowego FSRU (Floating Storage Regasification Unit) na Zatoce Gdańskiej.

Oczekując obecnie na aktualizację oraz objęcie swoimi ramami Morskiej Energetyki Wiatrowej w ramach Narodowego Programu Ochrony Infrastruktury Krytycznej (podlega on aktualizacji nie rzadziej niż raz na dwa lata), obowiązującego od dnia 21 marca 2023 r. (Uchwała nr 38/2023), należy przedstawić i zanalizować kwestie formalnoprawne ochrony infrastruktury wytwórczej na morzu. Infrastruktura ta odpowiadać będzie za generację nawet 40 TWh w 2035 roku. Może to stanowić od 17 do 21% zapotrzebowania krajowego na energię elektryczną (patrz Forum Energii, 2019). Infrastruktura ta znajdować się będzie w odległości ponad 22 km od linii brzegowej RP czyli niejednokrotnie poza linią horyzontu radiolokacyjnego bądź optycznego.

Przy założeniu, że turbiny wiatrowe posadowione na terenach Polskiej Wyłącznej Strefy Ekonomicznej, a więc z urządzeniami do wyprowadzenia mocy wewnątrz granicy Państwa w rozumieniu Ustawy z dnia 12 października 1990 r. o ochronie granicy państwowej, spełnią w opinii decydentów (Rządowego Centrum Bezpieczeństwa podległego Prezesowi Rady Ministrów) kryteria, pozwalające wyodrębnić obiekty, instalacje, urządzenia i usługi, wchodzące w skład systemów infrastruktury krytycznej, należy uznać, że Inwestorzy (uwzględniając potrzebę zapewnienia ciągłości funkcjonowania infrastruktury krytycznej) staną się operatorami Infrastruktury Krytycznej (IK) w energetyce [11].

Morskie Farmy Wiatrowe (MFW) w myśl art. 3 ust. 2 Ustawy o zarządzaniu kryzysowym, który stanowi, że:

- infrastruktura krytyczna to systemy oraz wchodzące w ich skład powiązane ze sobą funkcjonalnie obiekty, w tym obiekty budowlane, urządzenia, instalacje, usługi kluczowe dla bezpieczeństwa państwa i jego obywateli oraz służące zapewnieniu sprawnego funkcjonowania organów administracji publicznej, a także instytucji i przedsiębiorców. Infrastruktura krytyczna obejmuje systemy:
 - a) zaopatrzenia w energię, surowce energetyczne i paliwa,

oraz Ustawy o zarządzaniu kryzysowym **zakwalifikowane będą do IK.**

W konsekwencji ich operatorzy w kontekście realizacji wymogów dotyczących tychże powinni zaimplementować szereg rozwiązań i mechanizmów zawartych w pkt 4.2. Narodowego Programu Ochrony IK. Zawarto w nim obszar kompetencyjny dla Operatorów IK i zdefiniowano ich rolę w kontekście przeciwdziałania zagrożeniom podległej im infrastruktury. W myśl ww. punktu: „Operatorzy IK mają najlepszą wiedzę i warunki do ograniczenia zagrożeń dla IK, zmniejszania jej podatności na te zagrożenia oraz wyboru najodpowiedniejszych strategii minimalizacji skutków tych zagrożeń”.

Zgodnie z Ustawą o zarządzaniu kryzysowym to im powierzony został **obowiązek ochrony obiektów, urządzeń, instalacji i usług infrastruktury krytycznej**. W związku z powyższym zobowiązani są oni (m.in.) do przygotowania i wdrażania, stosownie do przewidywanych zagrożeń, **planów ochrony infrastruktury krytycznej** oraz utrzymywania własnych systemów rezerwowych, zapewniających bezpieczeństwo i podtrzymujących funkcjonowanie tej infrastruktury do czasu jej pełnego odtworzenia.

Zgodnie z Narodowym Programem Ochrony Infrastruktury Krytycznej za **system zaopatrzenia w energię**, surowce energetyczne i paliwa odpowiada minister właściwy do spraw aktywów państwowych, **minister właściwy do spraw energii** oraz minister właściwy do spraw gospodarki złożami kopalin. Działania podejmowane w obszarze niniejszej odpowiedzialności polegają m.in. na **dokonywaniu oceny ryzyka ewentualnych zakłóceń funkcjonowania systemu oraz okresowych analiz w zakresie ich ochrony**, współpracy z innymi organami, które na mocy ustaw posiadają władcze kompetencje w danym fragmencie systemu, wspieraniu organizacji ćwiczeń i szkoleń systemowych, doskonalących sprawność ochrony systemu pod kątem organizacyjnym, technicznym i formalnoprawnym, a także uzgadnianiu planów ochrony systemu, co wynika z **§ 4 ust. 1 pkt 2 Rozporządzenia Rady Ministrów z dnia 30 kwietnia 2010 r. w sprawie planów ochrony infrastruktury krytycznej** [11].

Niniejszy akt wykonawczy szczegółowo określa sposób tworzenia, aktualizacji oraz strukturę planów ochrony infrastruktury krytycznej, opracowywanych przez właścicieli oraz posiadaczy samoistnych i zależnych obiektów, instalacji lub urządzeń infrastruktury krytycznej, oraz warunki i tryb uznania spełnienia obowiązku posiadania planu odpowiadającego wymogom planu ochrony infrastruktury krytycznej.

Ponadto, w myśl obwieszczenia Marszałka Sejmu Rzeczypospolitej Polskiej z dnia 9 lutego 2022 roku w sprawie ogłoszenia jednolitego tekstu Ustawy o bezpieczeństwie morskim, definicja „bezpieczeństwa eksploatacji morskich farm wiatrowych” w art. 113a określa istotne w kontekście bezpieczeństwa zapisy nakładające na Operatora Morskich Farm Wiatrowych (MFW) obowiązki przedstawione literalnie w myśl ustawy jak niżej:

1. Morska farma wiatrowa w rozumieniu art. 3 pkt 3 Ustawy z dnia 17 grudnia 2020 r. o promowaniu wytwarzania energii elektrycznej w morskich farmach wiatrowych (DzU z 2021 r., poz. 234, 784, 1093 i 1642), zwana dalej „morską farmą wiatrową”, oraz zespół urządzeń służących do wyprowadzenia mocy w rozumieniu art. 3 pkt 13 tej ustawy, zwany dalej „zespołem urządzeń”, spełnia

wymagania w zakresie bezpieczeństwa, ochrony środowiska morskiego, ochrony granicy państwowej na morzu oraz obronności państwa określone w przepisach wydanych na podstawie art. 113b ust. 10 i 11 oraz art. 113c ust. 7.

2. Morską farmę wiatrową i zespół urządzeń buduje się i eksploatuje z zapewnieniem:

1) zgodności z uzyskanym pozwoleniem na wznoszenie lub wykorzystywanie sztucznych wysp, konstrukcji i urządzeń lub uzgodnieniem lub pozwoleniem na układanie kabli lub rurociągów w polskich obszarach morskich oraz decyzją o środowiskowych uwarunkowaniach;

4) funkcjonowania systemów łączności, bezpieczeństwa morskiego, ochrony granicy państwowej na morzu oraz obronności państwa.

Zawarte w punkcie c artykułu 113 wymogi w odniesieniu do systemu ochrony granicy państwowej na morzu nakładają na Wytwórcę obowiązek sporządzenia **ekspertyzy technicznej w zakresie oceny wpływu morskiej farmy wiatrowej i zespołu urządzeń na system zobrazowania radiolokacyjnego, obserwacji technicznej i morskiej łączności radiowej Straży Granicznej.**

Jednocześnie Ustawa z dnia 17 grudnia 2020 r. o promowaniu wytwarzania energii elektrycznej w morskich farmach wiatrowych doprecyzowuje wymagania techniczne, wynikające z powyższych ekspertyz:

Art. 113d 3 mówi o tym, że: „Jeżeli z ekspertyz, o których mowa w art. 113c ust. 1 i 2, wynika konieczność instalacji urządzeń niezbędnych z punktu widzenia obronności lub bezpieczeństwa państwa, w tym ochrony granicy państwowej na morzu, poszczególne elementy morskiej farmy wiatrowej lub zespołu urządzeń udostępnia się bez wynagrodzenia jednostkom organizacyjnym podlegającym Ministrowi Obrony Narodowej oraz ministrowi właściwemu do spraw wewnętrznych, jeżeli jest to niezbędne do wykonywania zadań tych jednostek lub w celu instalacji urządzeń służących wykonywaniu tych zadań, pod warunkiem, że urządzenia te nie będą zakłócać prawidłowego działania morskiej farmy wiatrowej i zespołu urządzeń”.

Powyższe wskazuje na możliwość kooperacji w zakresie sprawowania nadzoru (monitoringu) i budowania świadomości sytuacyjnej w domenie morskiej (*Maritime Situational Awareness*), przez Inwestora / Operatora IK i jednostki podległe Ministrowi Spraw Wewnętrznych i Ministrowi Obrony Narodowej [11].

Pozostałe akty prawne, regulujące funkcjonowanie morskich farm wiatrowych w kwestiach bezpieczeństwa, są to m.in.:

- Konstytucja Rzeczypospolitej Polskiej z dnia 2 kwietnia 1997 r. (Art. 228 Rodzaje stanów nadzwyczajnych);
- Ustawa z dnia 21 marca 1991 r. o obszarach morskich RP i administracji morskiej;
- Ustawa z dnia 22 sierpnia 1997 r. o ochronie osób i mienia;
- Ustawa z dnia 10 czerwca 2016 r. o działaniach antyterrorystycznych;
- Ustawa z dnia 20 kwietnia 2021 r. o zmianie ustaw regulujących przygotowanie i realizację kluczowych inwestycji w zakresie strategicznej infrastruktury energetycznej;
- Ustawa z dnia 11 marca 2022 r. o obronie Ojczyzny;
- Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 21 kwietnia 2022 r. w sprawie obiektów szczególnie ważnych dla bezpieczeństwa lub obronności państwa oraz ich szczególnej ochrony;
- Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 28 kwietnia 2022 r. w sprawie militaryzacji;
- Załącznik nr 2 do Narodowego Programu Ochrony Infrastruktury Krytycznej (tekst jednolity z 2020 r.) klauzula „ZASTRZEŻONY” – Kryteria pozwalające wyodrębnić obiekty, instalacje, urządzenia i usługi wchodzące w skład systemów infrastruktury krytycznej.

5. IK W ENERGETYCE A MFW – STAN FAKTYCZNY NA KONIEC 2024 ROKU

Akty dywersji na gazociągach Nord Stream 1 i 2 spowodowały wzmożone działanie służb zarówno specjalnych, jak i reprezentujących służby państwowe państw, przez których obszary morskie przebiegają³. Również w naszym państwie, które korzysta na Morzu Bałtyckim z kilku strategicznych projektów, zapewniających bezpieczeństwo energetyczne kraju, jak np. Petrobaltic, Baltic Pipe, SwePol Link, rozpoczęły się aktywne działania i zintensyfikowała dyskusja w zakresie ochrony przedmiotowej infrastruktury.

Dodając do wspomnianych powyżej planowany rozwój morskich farm wiatrowych na polskich obszarach morskich czy też budowę elektrowni jądrowej w okolicach Choczewa, trzeba mieć świadomość, że dywersyfikacja dostaw surowców energetycznych i uniezależnienie się od dostaw zza wschodniej granicy

³ W tym ochrony granic oraz sił zbrojnych jak: marynarka wojenna i siły powietrzne.

implikuje zagrożenia i wyzwania, płynące z konieczności ochrony powstającej infrastruktury.

Należy tu mocno podkreślić że w ciągu najbliższych 10–15 lat we wspomnianej lokalizacji (północ Polski) może powstać infrastruktura odpowiadająca za wytworzenie 1/3 energii elektrycznej w Polsce. Ponieważ ochrona przedmiotowej infrastruktury, szczególnie zaś morskich farm wiatrowych, jest niezwykle trudna, to prace nad zapewnieniem jej bezpieczeństwa trzeba rozpocząć w trybie bardzo pilnym, nim pierwsze farmy wiatrowe rozpoczną działanie.

Morskie farmy wiatrowe powstają w odległości powyżej 12 mil morskich od najbliższych portów, co samo w sobie wydłuża czas reakcji służb odpowiedzialnych za bezpieczeństwo państwa.

Właściciele turbin wiatrowych, posadowionych w Polskiej Wyłącznej Strefie Ekonomicznej, staną się operatorami infrastruktury krytycznej (jak już wspomniano powyżej) z pełnią praw, ale przede wszystkim obowiązków wynikających z tej sytuacji.

Jak już uprzednio wspomniano, Ustawa o zarządzaniu kryzysowym z 26 kwietnia 2007 roku nakłada na operatora takiej infrastruktury obowiązek sporządzenia m.in. planu ochrony. Swoje zadania do wykonania będą mieli także, oprócz ministra obrony i spraw wewnętrznych, ministrowie właściwi do spraw aktywów państwowych, czy klimatu (w tym Pełnomocnik Rządu do Spraw Strategicznej Infrastruktury Energetycznej).

Konieczne jest więc opracowanie rozwiązań np. wielosensorowego systemu ochrony, który umożliwiałby prawidłową reakcję na zagrożenia ze strony nurków, okrętów i pojazdów podwodnych, jednostek nawodnych oraz autonomicznych dronów.

Gdzie zatem jesteśmy na dziś, tu i teraz?

W poniższym zestawieniu (tab. 1) zaprezentowano wyciąg problematyki w zakresie regulacji i rozwiązań poruszanych w niniejszym rozdziale.

Tabela 1

Zestawienie regulacji i rozwiązań dotyczących zarządzania ryzykiem w zakresie ochrony infrastruktury krytycznej w energetyce w świetle włączenia do niej MFW

Lp.	Akt prawny / dokument, do którego wnieszona jest uwaga	Jednostka redakcyjna, do której wnieszona jest uwaga	Treść uwagi	Propozycja brzmienia przepisu	Stanowisko do uwagi
1	Projekt ZARZĄDZENIA Nr ... DYREKTORA URZĘDU MORSKIEGO W ... w sprawie ustanowienia stref bezpieczeństwa dla morskiej farmy wiatrowej ... (projekt z 2021 r.)	§1.2. Strefy bezpieczeństwa, o których mowa w ust. 1, obejmują: 2) koła o promieniu 500 m liczone od punktów opisanych za pomocą współrzędnych geocentrycznych geodezyjnych. § 4. 1. W strefach bezpieczeństwa, określonych w § 1, dozwolona jest żegluga statków o długości całkowitej do 45 m, wykonywana wyłącznie przy użyciu napędu mechanicznego, w celu: 1) swobodnego przepływu przez obszar MFW; 2) wykonywania rybołówstwa. 4. Żegluga, o której mowa w ust. 1, jest dozwolona w odległości nie mniejszej niż 150 m od konstrukcji i urządzeń wchodzących w skład MFW	Przy proponowanych zapisach istnieje wysokie ryzyko zagrożenia związanego z sabotażem elementów MFW poprzez atak np. przy użyciu statków, których w myśl §4 strefy bezpieczeństwa by nie obowiązywały. Dodatkowo, zgodnie z §4 każdy statek poniżej 45 m całkowitej długości będzie mógł zbliżyć się do elementów MFW na odległość nie mniejszą niż 150 m. W odległości 150 m od elementów MFW nie ma możliwości skutecznego wykrycia zagrożenia w odpowiednim czasie, przykładowo, potencjalnego ataku z użyciem drona z ładunkami wybuchowymi. Brak również wytycznych, kto miałby być odpowiedzialny za jego wykrycie oraz neutralizację. W §1 ust. 2 mowa jest o okręgach 500 m wokół poszczególnych turbin i morskich stacji elektroenergetycznych, natomiast w rzeczywistości odległość między turbinami i stacjami będzie większa niż 1000 m, w związku z tym strefy nie będą pokrywać całego obszaru MFW. Powoduje to sytuację, w której potencjalnie ataki mogłyby być przeprowadzone nawet w centralnych punktach MFW. Ostatnie wydarzenia w obszarze Morza Bałtyckiego pokazują, że akty sabotażu są bardzo prawdopodobne. Wprowadzając szereg wyjątków od przestrzegania stref bezpieczeństwa to prawdopodobieństwo się zwiększa. W związku z wysokim znaczeniem morskich farm wiatrowych dla bezpieczeństwa energetycznego państwa oraz prawdopodobnego uznania za infrastrukturę krytyczną, rekomenduje się opracowanie przepisów, w tym dotyczących stref bezpieczeństwa, które maksymalnie zmitigują wyżej wymienione ryzyka		

2	Pozwolenia na Wznoszenie Sztucznych Wyp. Konstrukcji i urządzeń (PSZW)	Zobowiązanie do: „...Instalacji radarów obserwacji sytuacji nawodnej i głowic opłoelektronicznych na dwóch elektrowniach wiatrowych w przedsięwzięcia)” „...Opracowania projektu budowlanego dotyczącego poprowadzenia i budowy linii światłowodowej, zarówno na dnie (pod dnem) morza, jak i w części lądowej, przeznaczanej na potrzeby transmisji danych sytuacji nawodnej z radarów i głowic opłoelektronicznych oraz zainstalowane co najmniej 2 radary obserwacji sytuacji nawodnej oraz urządzeń kompensujące (min. dodatkowe radary) jako wynik Ekspertyz. Sytuacja nie będzie uwzględniać oddziaływań skumulowanych pomiędzy farmami w zakresie radarów z PSZW, a także oddziaływań skumulowanych w obszarze jednej farmy w zakresie radarów z PSZW urządzeń kompensujących z Ekspertyzy. Ponadto, żaden z inwestorów nie jest w stanie określić tych oddziaływań skumulowanych, gdyż Rozporządzenie Ministra w sprawie zakresu ekspertyz nie zawiera w sobie wyliczonych, jak podejść do radarów z PSZW	Wskazane PSZW wydane zostały w 2012 r., a przytoczone wyżej wymogi zostały wprowadzone na podstawie nieistniejącej obecnie Ustawy o powszechnym obowiązku obrony Rzeczypospolitej Polskiej. W momencie wydawania PSZW nie istniał wymóg prawny sporządzania Ekspertyz przez Inwestorów. Wdrożenie zapisów z PSZW w obecnym stanie prawnym prowadzić będzie do sytuacji, w której: każda MFW będzie miała zainstalowane co najmniej 2 radary obserwacji sytuacji nawodnej oraz urządzeń kompensujące (min. dodatkowe radary) jako wynik Ekspertyz. Sytuacja nie będzie uwzględniać oddziaływań skumulowanych pomiędzy farmami w zakresie radarów z PSZW, a także oddziaływań skumulowanych w obszarze jednej farmy w zakresie radarów z PSZW urządzeń kompensujących z Ekspertyzy. Ponadto, żaden z inwestorów nie jest w stanie określić tych oddziaływań skumulowanych, gdyż Rozporządzenie Ministra w sprawie zakresu ekspertyz nie zawiera w sobie wyliczonych, jak podejść do radarów z PSZW	Konieczne jest wydanie przez Ministra Obrony Narodowej oficjalnej interpretacji, wiążącej dla MON i inwestorów, że celem połączenia światłowodowego lub bezprzewodowego jest połączenie nie urządzeń kompensujących wskazanych w ekspertyzach ze wskazanym punktem operacyjnym Marynarki Wojennej. Konieczne jest również wskazanie lokalizacji tego punktu oraz osób odpowiedzialnych po stronie MON za dostarczenie danych technicznych inwestorowi, niezbędnych do opracowania projektu budowlanego	
3	Ekspertyza Techniczna w zakresie oddziaływania MFW na systemy bezpieczeństwa państwa	Art. 113 § 3 „Jeżeli z ekspertyzy, o której mowa w art. 113c ust. 1 i 2, wynika konieczność instalacji urządzeń niezbędnych z punktu widzenia obronności lub bezpieczeństwa państwa, w tym ochrony granicy państwowej na morzu, poszczególne elementy morskiej floty wiatrowej lub zespołu urządzeń wodnoenergetycznych, jeżeli jest to niezbędne do wykonywania zadań tych jednostek lub w celu instalacji urządzeń służących wykonywaniu tych zadań, pod warunkiem że urządzenia te nie będą zakłócać prawidłowego działania morskiej floty wiatrowej i zespołu urządzeń”	Prosimy o oficjalne potwierdzenie ze strony Ministra Obrony Narodowej, że w myśli przytoczonego zapisu, to jednostki organizacyjne podległe MON odpowiedzialne są za: • instalację urządzeń kompensujących wskazanych w Ekspertyzie, które będą stanowią ich własność, • zakup i eksploatację (utrzymanie stanu technicznego) tego sprzętu		

cd. tabeli 1

4	Decyzja lokalizacyjna, wymogi Ministerstwa Obrony Narodowej	Obowiązek rozmieszczenia dodatkowych sensorów obserwacji przestrzeni morskiej i powietrznej na elementach konstrukcyjnych morskich farm wiatrowych, w tym m.in. radary obserwacji morskiej i powietrznej, urządzenia umożliwiające wykrycie obiektów podwodnych i zbieranie danych hydroakustycznych o tych obiektach, głowice optoelektroniczne pracujące w pasmie promieniowania widzialnego i podczerwieni, odbiorniki sygnału AIS oraz radiostacji VHF/UHF	Wątpliwości budzą założenia umiejscowienia (montażu) sprzętu wykorzystywanego do celów militarnych na obiektach, które są własnością podmiotów cywilnych z udziałem kapitału zagranicznego. Ponadto znajdują się one poza terytorium RP na morzu otwartym (w Polskiej Wyłącznej Strefie Ekonomicznej) i montaż oraz wojskowe wykorzystanie takiego sprzętu powinno podlegać szczególnej analizie prawnej. Należałoby również rozważyć, jaka jest możliwość ochrony transmisji danych pozyskanych z tego typu sensorów, przy założeniu że ochroną mają zajmować się podmioty cywilne (prywatne i międzynarodowe)			Tworzą również prace/analizy nad zidentyfikowaniem kluczowych aspektów prawnych w tej materii – jest to zakres przygotowany przez PSEW poprzez Grupę opracowaną wewnątrz PSEW
5	USTAWA z dnia 26 kwietnia 2007 r. o zarządzaniu kryzysowym	Art. 5b. 1. Rada Ministrów przyjmuje, w drodze uchwały, Narodowy Program Ochrony Infrastruktury Krytycznej (...) 3. Program przygotowuje dyrektor Rządowego Centrum Bezpieczeństwa we współpracy z (...). 7. Dyrektor Rządowego Centrum Bezpieczeństwa: 1) sporządza na podstawie szczegółowych kryteriów, (...) jednolity wykaz obiektów, instalacji, urządzeń i usług wchodzących w skład infrastruktury krytycznej (...)	Obecne przepisy nie precyzują szczegółowego zakresu kryteriów umożliwiających zakwalifikowanie MFW jako infrastruktury krytycznej. Kryteria są tajne			Tworzą również prace/analizy nad zidentyfikowaniem kluczowych aspektów prawnych w tej materii – jest to zakres przygotowany przez PSEW poprzez Grupę opracowaną wewnątrz PSEW
6	USTAWA z dnia <data wydania aktu> r. o ochronie ludności oraz o stanie klęski żywiołowej	Art. 115. 1. Rada Ministrów przyjmuje, w drodze uchwały, szczegółowe kryteria pozwalające wyodrębnić obiekty, urządzenia, instalacje i usługi wchodzące w skład systemów, o których mowa w art. 114 (IK) (...). Art. 116. Minister właściwy do spraw wewnętrznych: 1) na podstawie kryteriów, (...) prowadzi wykaz obiektów, urządzeń, instalacji lub usług wchodzących w skład infrastruktury krytycznej 4) informuje operatorów infrastruktury krytycznej o ujęciu obiektów, urządzeń, instalacji lub usług w wykazie (...)	W projekcie ustawy szczegółowe kryteria klasyfikacyjne pozostają nadal tajne, a inwestorzy w chwili obecnej nie mogą przewidzieć, czy infrastruktura MFW zostanie zakwalifikowana jako IK			Tworzą również prace/analizy nad zidentyfikowaniem kluczowych aspektów prawnych w tej materii – jest to zakres przygotowany przez PSEW poprzez Grupę opracowaną wewnątrz PSEW
7	USTAWA z dnia <data wydania aktu> r. o ochronie ludności oraz o stanie klęski żywiołowej	Art. 118. Operator infrastruktury krytycznej jest odpowiedzialny za zapewnienie ochrony infrastruktury krytycznej (...) na wypadek (...), ataków oraz innych zdarzeń zakłócających jej prawidłowe funkcjonowanie	Inwestorzy nie mają podstawy prawnej do wykonywania czynności związanych z bezpieczeństwem obiektów, a jedynie do monitorowania obiektów. Na obecnych zasadach MFW są bezpieczne. Ponadto inwestorzy nie będą mieli środków na zapewnienie środków bezpieczeństwa			Tworzą również prace/analizy nad zidentyfikowaniem kluczowych aspektów prawnych w tej materii – jest to zakres przygotowany przez PSEW poprzez Grupę opracowaną wewnątrz PSEW

	USTAWA z dnia 13 stycznia 2023 r. o zmianie ustawy o bezpieczeństwie morskim oraz niektórych innych ustaw	Art.1.39) w art. 113c ust. 7 otrzymuje brzmienie: „7. Minister Obrony Narodowej w porozumieniu z ministrem właściwym do spraw wewnętrznych określi, w drodze rozporządzenia, szczegółowy zakres ekspertyz, o których mowa w ust. 1 i 2, oraz wytyczne w zakresie metodyki i metodologii sporządzania ekspertyz, o których mowa w ust. 1, biorąc pod uwagę konieczność zapewnienia kompleksowości ekspertyz z punktu widzenia obronności i bezpieczeństwa państwa” - w powiązaniu z Art. 18. 1. Dotychczasowe przepisy wykonawcze wydane na podstawie art. 8 ust. 3, art. 17 ust. 7, art. 23 ust. 5, art. 28 ust. 4, art. 64 ust. 5, art. 74 ust. 4, art. 83 ust. 2, art. 106, art. 107b ust. 6, art. 113c ust. 7 i art. 124 ust. 3 ustawy zmienianej w art. 1 zachowują moc do dnia wejścia w życie przepisów wykonawczych wydanych na podstawie art. 8 ust. 11, art. 17 ust. 7, art. 23 ust. 5, art. 28 ust. 4, art. 64 ust. 5, art. 74 ust. 4, art. 83 ust. 2, art. 106, art. 107b ust. 6, art. 113c ust. 7 i art. 124 ust. 3 ustawy zmienianej w art. 1, w brzmieniu nadanym niniejszą ustawą, jednak nie dłużej niż przez okres 36 miesięcy od dnia jej wejścia w życie	Wydaje się zasadne, aby doprecyzować lub gruntownie omówić i uzyskać interpretację MON dotyczącą zapisu w kwestii wprowadzenia „wytycznych w zakresie metodyki i metodologii sporządzania ekspertyz” w zakresie: - realnego terminu wejścia w życie tychże wytycznych? – uzyskanie informacji odnośnie do statusu prac nad wytycznymi? (w nowelizacji ustawy <i>zakłada się termin do 36 miesięcy</i>) - zamierzonego sposobu upublicznienia tego dokumentu? – (<i>rozporządzenie/ zarządzenie / strona internetowa/ etc.</i>) - charakteru wytycznych w procesie analizowania i zatwierdzania przedłożonych do MON ekspertyz? – (<i>dokument obligatoryjny / pomocniczy/ lista sprawdzająca</i>) - sposobu wprowadzenia w życie wytycznych, zwłaszcza w stosunku do tych ekspertyz, które są w przygotowaniu lub/ będą złożone do zatwierdzenia do MON przed upublicznieniem wytycznych? – jakie jest podejście MON-u do okresu przejściowego? – ewentualne wprowadzenie przepisów przejściowych	Ewentualna propozycja brzmienia przepisu po dyskusji / wymianie poglądów w z przedstawicielami MON	
--	--	---	--	---	--

Reasumując, obecny stan prawny nie uwzględnia obiektów IK znajdujących się na obszarach morskich i w WSE, dlatego nie ma precyzyjnie określonych wymagań względem operatora (zadania, plany ochrony, współpraca z administracją rządową, SZ RP i służbami).

W związku z tym nadal rekomendowane jest:

- wypracowanie propozycji zmiany istniejących przepisów dotyczących IK uwzględniających specyfikę MFW;
- analiza przepisów pod kątem określenia, czy MFW posadowione na obszarze WSE podlegają ochronie państwa tak jak na terytorium RP;
- wypracowanie metod/regulacji, określających współpracę operatorów MFW z organami państwa w obszarze ochrony IK.

Dodatkowo obligatoryjnym katalogiem do wypracowania są:

1. Jednolite wytyczne dotyczące urządzeń obserwacyjnych wymaganych do zainstalowania dla MON i SG w zakresie:
 - wymagań technicznych dotyczących urządzeń obserwacji nawodnej oraz podwodnej;
 - własności, zasad użytkowania, odpowiedzialności za konserwację i serwis;
 - zasad odbioru i akceptacji urządzeń, tj. prawa do inspekcji pracowników MON i SG.
2. Uwzględnienie całościowe obszarów Ławicy Słupskiej oraz Ławicy Środkowej, nie zaś pojedynczych obszarów morskich farm wiatrowych (MFW).
3. Jednolite wytyczne, dotyczące przyłącza światłowodowego dedykowanego urządzeniom obserwacyjnym dla MON i SG, w zakresie:
 - protokołu wraz z parametrami przesyłania danych;
 - parametrów przyłącza;
 - własności, zasad użytkowania, odpowiedzialności za konserwację i serwis,
 - zasad akceptacji projektu budowlanego;
 - zasad odbioru i akceptacji urządzeń, tj. prawa do inspekcji pracowników MON i SG.
4. Jednolite procedury i wytyczne, dotyczące współdziałania właścicieli MFW z jednostkami odpowiedzialnymi za bezpieczeństwo państwa i ochronę granic.
5. Jednolite wytyczne dla właścicieli MFW, dotyczące opracowania i uzgadniania Planu Ochrony Obiektu.
6. Jednolite wytyczne dla właścicieli MFW, dotyczące procedur antyterrorystycznych.

7. Jednolite procedury i wytyczne dla właścicieli MFW, dotyczące reagowania kryzysowego w sytuacjach kryzysowych i nadzwyczajnych.
8. Jednolite wytyczne, w tym techniczne dla operatorów MFW jako Operatora usług kluczowych.
9. Jednolite wytyczne, w tym techniczne dla operatorów MFW jako Operatora Infrastruktury Krytycznej.
10. Wdrożenie do działań operacyjnych i współpraca z Inwestorami MFW w ramach projektowanego przez Biuro Infrastruktury Specjalnej/Departament Infrastruktury MON Systemu informacji przestrzennej (SIP) o nazwie B..., który ma służyć:
 - udostępnianiu danych przestrzennych (zarówno tych z SIPAM, jak i danych MON);
 - dostarczaniu podstawowych narzędzi edycyjnych (projektowanie przebiegu kabli, położenia instalacji etc).

System B. (nazwa celowo ukryta ze względu na jego nieupublicznianie) ma upraszczać i przyspieszać realizację procedur związanych z zagospodarowaniem przestrzennym, a w tym z zagospodarowaniem przestrzennym polskich obszarów morskich. Nadto System B. posiada zdolności integracyjne z istniejącymi systemami tego typu, np. z SIPAM.

Monitoring zaimplementowany na morskich farmach wiatrowych (MFW) może w sposób wydatny wzmacniać możliwość zarówno pozyskiwania danych o zagrożeniu, jak i dystrybucji ich do jednostek, które w sposób adekwatny i efektywny przedstawionym zagrożeniom będą mogły sprostać. Zasilanie danymi pozyskiwanymi z monitoringu MFW systemów rozpoznawczych SZ RP pozwoliło by w pewnym stopniu na uzyskanie przewagi informacyjnej nad przeciwnikiem, posiadającym swobodę wyboru czasu i miejsca ataku na infrastrukturę, w tym IK.

Znaczna odległość od polskiego wybrzeża planowanych inwestycji powoduje, że środki techniczne, którymi dysponują Punkty Obserwacyjne MW (radar BRIDGEMASTER oraz zmodyfikowany radar NUR-21) oraz Placówki Straży Granicznej (radar TERMA SCANTER 2001), nie mają możliwości sprawowania dozoru radiolokacyjnego na południowych krańcach nowo budowanych farm wiatrowych zlokalizowanych najbliżej wybrzeża [11].

Pozostałe formy monitorowania obszaru posadowienia MFW przy obecnych możliwościach i uwarunkowaniach formalnoprawnych, mogą być realizowane w ograniczonym zakresie ze względu na siły i środki będące na wyposażeniu

zarówno Marynarki Wojennej, w tym Brygady Lotnictwa Marynarki Wojennej⁴ jak i Straży Granicznej (rys. 7).



Rys. 7. OSS (*helideck*) Morze Północne

Źródło: opracowanie własne.

Tym samym wymagane (w domenie nawodnej i podwodnej) byłoby użycie wielosensorowego systemu ochrony, który umożliwiałby prawidłową reakcję na zagrożenia. Jego zadaniem powinna być detekcja środków dywersji podwodnej (nurek, mały pojazd podwodny, szybkie łodzie motorowe, dron USV etc.), oparta

⁴ Dysponuje samolotami patrolowo-rozpoznawczymi, np. M28B 1R, M28B 1RM/BIS oraz samolotami monitoringu ekologicznego An-28, a także od niedawna samolotami wczesnego ostrzegania Saab 340 AEW Erieye.

na kombinacji sensorów hydroakustycznych (nasłuch hydrolokacyjny pozwalający na wykrywanie i lokalizację obiektów poruszających się pod wodą), barier magnetycznych (potwierdzanie wykrytego celu poprzez reakcję na środowiskowe zmiany pola magnetycznego, wywołane ruchem obiektów generujących nawet słabe pola magnetyczne), sonaru wielowiązkowego, detektorów na pojazdach załogowych/bezzałogowych (m.in. autonomiczne ROV-y, operujące w akwenie posadowienia MFW) oraz umieszczonych w strefie nawodnej sensorów optycznych (laser, podczerwień, TV).

Ww. system powinien zawierać trzy podstawowe komponenty systemowe:

1. Warstwa decyzyjna (system wymiany danych wraz z systemem operacyjnym wspierający system decyzyjny).
2. Warstwa informacyjna (składająca się z bazy danych zdefiniowanych zagrożeń).
3. Warstwa sprzętowa (wspomniane stacjonarne i mobilne sensory i efektory).

Funkcjonowanie takiego systemu powinno opierać się na poniższej pętli decyzyjnej:

1. Detekcja i klasyfikacja zagrożeń podwodnych (w ramach budowania świadomości sytuacyjnej / *Recognize Underwater Picture*).
2. Obserwacja i rozpoznanie nawodne i powietrzne (w ramach budowania świadomości sytuacyjnej / *Recognize Maritime Picture* oraz *Recognize Air Picture*).
3. Identyfikacja (ocena) zagrożeń (*Threat evaluation*).
4. Użycie uzbrojenia (*Executive phase*).

6. ZAANGAŻOWANIE NATO I UE

Doświadczenia ostatnich lat wśród państw szczególnie usytuowanych na flance wschodniej NATO wskazują, że kraje sojusznicze poddane są zintensyfikowanym działaniom hybrydowym, w tym akcjom dezinformacyjnym, działaniom w cyberprzestrzeni, jak i z wykorzystaniem służb wywiadowczych, prowadzonym bezpośrednio przez Rosję, jak również przez inne podmioty zarówno państwowe, jak i pozapaństwowe.

W sposób szczególny dotyczy to bezpieczeństwa energetycznego i celowego zaostrzania przez Rosję kryzysu, który dotyka i oddziałuje na większość państw europejskich, wykorzystujących chociażby wspólne połączenia i systemy przesyłowe. Wobec takich zagrożeń coraz ważniejsza staje się potrzeba koordynacji

między państwami wszelkich działań w dziedzinie ochrony i bezpieczeństwa infrastruktury krytycznej, w tym szczególnie newralgicznej – morskiej.

W związku z tym już w 2022 roku po uszkodzeniu rurociągów Nord Stream I i II zapadła decyzja o rozpoczęciu przez MW RP operacji „Zatoka”, polegającej na stałym monitoringu i obserwacji polskich wód terytorialnych i EEZ przez jednostki pływające i samoloty patrolowe we współpracy ze Strażą Graniczną, aby identyfikować podejrzane zachowania i móc w ten sposób udaremnić próbę przeprowadzenia sabotażu czy też aktu terrorystycznego [9]. Również NATO uznaje za realne i rozwojowe zagrożenia dla bezpieczeństwa podmorskiej infrastruktury krytycznej oraz wskazuje ten aspekt jako jeden z elementów składających się na całokształt bezpieczeństwa morskiego.

W celu koordynacji kwestii ochrony podmorskiej infrastruktury krytycznej uzgodniono powołanie w 2023 roku do życia Critical Undersea Infrastructure Coordination Cell at NATO Headquarters, która jest dedykowaną komórką przy kwaterze głównej NATO w Brukseli. Jednocześnie ochrona infrastruktury pozostaje przy tym obowiązkiem poszczególnych krajów, jak i zbiorowym zobowiązaniem państw członkowskich. NATO jest gotowe do wspierania swych sojuszników w obszarze jej ochrony na ich wezwanie. Kluczowe znaczenie odgrywa przepływ informacji o potencjalnych zagrożeniach, który powinien docierać do zidentyfikowanych odbiorców (wojsko, agendy rządowe lub przemysł) praktycznie w czasie rzeczywistym. W tym celu w 2024 roku zostało utworzone NATO Maritime Centre for Security of Critical Undersea Infrastructure (CUI) przy dowództwie sił morskich (*Maritime Command* – MARCOM) w Northwood, UK.

Jednocześnie duże znaczenie mają inicjatywy regionalne. Na ostatnim szczycie Państw Nordyckich i Bałtyckiej Ósemki polski premier Donald Tusk zaproponował rozważenie utworzenia inicjatywy *navy policing* – wspólnych misji patrolowania przez państwa basenu Morza Bałtyckiego⁵. Na razie szczegóły nie są znane i ustalone, ale propozycja wydaje się dość interesująca i z pewnością można spodziewać się kolejnych działań w tym zakresie. Jak wspominał również szef Sztabu Generalnego WP, gen. Wiesław Kukuła w jednym z ostatnich wywiadów dla dziennika „Rzeczpospolita”, „Bałtyk stał się środowiskiem nieprzyjaznym”, co również nie uszło uwadze NATO, które, obserwując znaczne zmiany w środowisku bezpieczeństwa światowego, w swoich planach regionalnych

⁵ Na wzór „*Baltic Air Policing*” – funkcjonującej od 2004 r. operacji NATO prowadzonej w ramach Sił Szybkiego Reagowania i polegającej na patrolowaniu przestrzeni powietrznej trzech krajów nadbałtyckich: Litwy, Łotwy i Estonii.

przewidziało utworzenie dedykowanych komórek do koordynacji działań morskich sojuszu.

Taka międzynarodowa komórka dedykowana dla regionu Morza Bałtyckiego rozpoczęła działalność w październiku 2024 roku pod nazwą CTF BALTIC⁶ (*Commander Task Force Baltic*) w Rostoku w Niemczech i będzie prowadziła dyżur przez okres czterech najbliższych lat. Potem od 2028 roku strona polska z polskim admirałem na czele na bazie naszego dowództwa przejmie dyżur. Mamy zatem do czynienia z dowództwem rotacyjnym, które w ramach działań kryzysowych i wojny będzie odpowiadało za koordynację działań sił morskich sojuszu.

PODSUMOWANIE

Niniejsze opracowanie jest m.in. streszczeniem wykładu, przeprowadzonego w ramach II i III edycji studiów podyplomowych *Zarządzanie ryzykiem w morskim przemyśle wydobywczym i energetyce wiatrowej (Risk Management in Offshore Oil & Gas and Offshore Wind Industry)*. Skala poruszonych zagadnień oraz zakres prezentowanego w jego ramach materiału znacznie przekracza ograniczone ramy niniejszej publikacji. Niemniej chociażby skrócony rys tego, jakże obszernego i niezwykle istotnego zagadnienia, autorzy opracowania starali się przedstawić.

Co istotne, świadomość polskiego środowiska *offshore wind* w zakresie problematyki infrastruktury krytycznej jako immamentnej części struktury bezpieczeństwa państwa znacząco wzrosła i nadal wzrasta w ostatnich latach. Po serii incydentów na wodach Morza Bałtyckiego, a także po fakcie ukonstytuowania akwenu jako „morza wewnętrznego NATO”, zagadnienia infrastruktury krytycznej stały się jeszcze bardziej palącymi kwestiami.

Należy mieć na względzie, że morska energetyka wiatrowa przy jej wolumenach wytwórczych oraz specyfice operacyjnej, niezależnie od tego, czy jest to akceptowalne czy nie, stanie się częścią strategicznej infrastruktury energetycznej państwa (IKE), mającej wpływ na cały system elektroenergetyczny Polski (KSE) (rys. 8).

⁶ Zastępcą Dowódcy CTF BALTIC jest aktualnie kontradmirał Piotr Nieć z MW RP.



Rys. 8. Morska turbina wiatrowa (serwis) Morze Północne

Źródło: opracowanie własne.

Zlekceważenie tego faktu, a nawet jego niepełne rozumienie, może mieć w przyszłości znaczące konsekwencje nie tylko dla bezpieczeństwa i stabilności systemu elektroenergetycznego państwa, ale przede wszystkim dla bezpieczeństwa nas wszystkich, użytkowników i odbiorców energii. W związku z tym omawiany aspekt nie powinien być traktowany przy okazji innych zagadnień, stając się strategiczną domeną bezpieczeństwa państwa i operatorów ww. obiektów IKE.

BIBLIOGRAFIA

1. BARS/*Basic Aviation Risk Standard*, Offshore Helicopter Operations Safety Performance Requirements, Implementation Guidelines, Version 3, December 2016.
2. Fałkowski A., *Infrastruktura krytyczna kluczowa dla bezpieczeństwa Polski*, Defence24, styczeń 2024.
3. Miętkiewicz R., *Obiekty morskiej infrastruktury energetycznej - próba określenia podatności na ataki platform bezzałogowych*, Alcumena – Pismo interdyscyplinarne, 2023, nr 3(15).

4. Narodowy Program Ochrony Infrastruktury Krytycznej – tekst jednolity, 2023.
5. Piekarski M., *Ochrona infrastruktury krytycznej na polskich obszarach morskich w kontekście zagrożeń hybrydowych*, Ekspertyzy PTBN, 2023, nr 1.
6. Ustawa z dnia 26 kwietnia 2007 r. o zarządzaniu kryzysowym, DzU z 2007, nr 89, poz. 590 z późn. zm.
7. Zeszyty Naukowe SGSP w Warszawie, 2021, nr 79.

Źródła internetowe

8. https://www.nato.int/cps/en/natohq/news_225582.htm.
9. Kozubał M., *Wiceadmiral Krzysztof Jaworski: Na Bałtyku trwa wojna hybrydowa, Rzeczpospolita*, <https://www.rp.pl/wojsko/art41556431-wiceadmiral-krzysztof-jaworski-na-baltyku-trwa-wojna-hybrydowa>.
10. Raport „Potencjał Morskiej Energetyki Wiatrowej w Polsce”, PSEW, www.baltic-wind.eu.
11. Chyła T., *Ochrona infrastruktury energetycznej w aspekcie rozwoju morskiej energetyki wiatrowej na obszarach morskich RP*, Analiza nr 4/2022, Instytut Polityki Energetycznej im. Ignacego Łukasiewicza, 2022, https://www.instytutpe.pl/wp-content/uploads/2016/01/Analiza-IPE-4_2022-T.Chy%C5%82a.pdf.



Artur Kończal – jest oficerem Marynarki Wojennej w stopniu komandora z ponad 30-letnim stażem w Siłach Zbrojnych RP. Po ukończeniu Akademii Marynarki Wojennej w Gdyni na Wydziale Nawigacji i Uzbrojenia Okrętowego zdobywał doświadczenie i praktykę w kierowaniu i dowodzeniu zarówno w dywizjonach okrętów, jak i w strukturach sztabowych na poziomie operacyjnym w Dowództwie Marynarki Wojennej w Gdyni oraz poziomie strategicznym w Sztabie Generalnym Wojska Polskiego w Warszawie, a także w środowisku międzynarodowym w Polskim Przedstawicielstwie Wojskowym przy Komitetach Wojskowych NATO i UE w Brukseli. Sukcesywnie

podnosząc kwalifikacje na wielu kursach i szkoleniach w kraju oraz za granicą, w tym na studiach podyplomowych (m.in. Szkoła Główna Handlowa w Warszawie, Naval Postgraduate School w Monterrey w USA), zdobył i doskonalił, wykorzystując w praktyce, umiejętność z zakresu kontroli zarządczej, planowania i zarządzania projektami, w tym zarządzania ryzykiem, bezpieczeństwa narodowego, jak i międzynarodowego oraz dyplomacji, które z powodzeniem wykorzystuje również jako wykładowca akademicki. Jest także absolwentem II edycji studiów podyplomowych *Zarządzanie ryzykiem w morskim przemyśle wydobywczym i energetyce wiatrowej* na Uniwersytecie Morskim w Gdyni. Tym samym może się szczycić dyplomami obu uczelni morskich miasta „z morza i marzeń”.



Konrad Wróbel – prezes Zarządu Bluefield Sp. z o.o., spółki dedykowanej budowie symulatorów śmigłowcowych dla branży obronnej, *Oil & Gas* oraz *offshore wind* (VR/AR/standard), systemom transmisji danych oraz robotyce kognitywnej. Z wykształcenia prawnik. Posiada dwudziestoletnie doświadczenie w zarządzaniu projektami oraz ryzykiem (kierownik projektów z zakresu branży lotniczej, IT oraz projektów R&D). Akredytowany trener i egzaminator metodyki M_o_R® (*Management of Risk*). Certyfikowany *Project manager* (M_o_R®/ PRINCE 2®). Do niedawna członek Zarządu ORLEN Neptun (GK ORLEN), spółki dedykowanej morskiej energetyce wiatrowej

(MEW), odpowiedzialny m.in. za kontraktacje, łańcuch dostaw oraz zarządzanie ryzykiem. Członek zarządów i dyrektor operacyjny w firmach lotniczych (m.in. operujących śmigłowcami). Liczne publikacje prasowe z zakresu lotnictwa (śmigłowce), w tym stałe felietony „W zawisie” Pilot Club Magazine oraz JustFly Magazine. Wieloletnia współpraca z EASA, FAA, South African Civil Aviation Authority (SACAA) oraz ULC, m.in. w zakresie certyfikacji (lotniska / lądowiska / helipady i heliporty). Prywatnie pasjonat lotnictwa (śmigłowce, samoloty, szybowce, balony) ze szczególnym uwzględnieniem śmigłowców (nalot w Europie, Południowej Afryce i Stanach Zjednoczonych, m.in. do licencji PPL (H)).

Dużą uwagę poświęca zagadnieniom, związanym z zarządzaniem ryzykiem w branży morskiej energetyki wiatrowej z uwzględnieniem zarządzania ryzykiem w operacjach lotniczych (*offshore*) oraz zagadnieniom infrastruktury krytycznej (IK) w sektorze energetycznym (IKE).

Magdalena BOGALECKA

Rozdział 5

MORSKIE FARMY WIATROWE A EKOSYSTEMY MORSKIE – DWUKIERUNKOWE ODDZIAŁYWANIA W CYKLU ŻYCIA

WSTĘP

Morska energetyka wiatrowa jest jedną z technologii odnawialnych źródeł energii (OZE), rozwijających się w dość szybkim tempie. Ze względu na lokalizację morskich farm wiatrowych (MFW) z dala od obszarów zamieszkałych, co eliminuje problem hałasu i ingerencji w krajobraz, oraz korzystne warunki, wynikające z większej siły i stabilności wiatru, przekładające się na możliwość instalowania wyższych i większych turbin wiatrowych, MFW oferują wysoką wydajność energetyczną w porównaniu z elektrowniami wiatrowymi na lądzie. Mimo tych korzyści realizacja projektów MFW wiąże się z wyzwaniem, dotyczącymi nie tylko pracy w trudnych warunkach hydrologicznych, obejmujących m.in. wysokie fale, silne prądy morskie i zlodzenie, ale także ingerencję w środowisko naturalne i zachwianie jego równowagi. Budowa, eksploatacja, a następnie likwidacja i recykling MFW wraz z towarzyszącą im infrastrukturą, wymagają szczególnej uwagi pod względem ochrony środowiska, zwłaszcza na akwenach cennych przyrodniczo i wrażliwych na presję antropogeniczną. Inwestorzy MFW, oprócz przeprowadzenia oceny ich wpływu na ekosystemy morskie, powinni także uwzględnić odwrotny wpływ, tj. środowiska na infrastrukturę, dostosowując projekt do lokalnych warunków.

Cykl życia inwestycji, jaką jest MFW, obejmuje kilka kluczowych etapów: planowanie i projektowanie, budowę, eksploatację oraz likwidację i recykling [4, 17, 35, 47, 53]. Każdy z tych etapów charakteryzuje się specyficznymi interakcjami z otoczeniem nie tylko morskim, które mogą mieć zarówno pozytywne, jak i negatywne skutki [47]. Relacje te są dwukierunkowe: z jednej strony MFW

wywiera presję na środowisko, zmieniając jego strukturę i funkcjonowanie, a z drugiej strony środowisko, z jego unikatowym zestawem czynników fizycznych (np. prądy, fale, wiatr), biologicznych (np. porastanie elementów konstrukcji przez organizmy morskie) oraz chemicznych (np. powodowanie korozji), oddziałuje na elementy MFW, wpływając na jej wydajność, trwałość i koszty eksploatacji.

1. ETAP PLANOWANIA I PROJEKTOWANIA

Planowanie i projektowanie MFW obejmuje analizę lokalizacji i jej warunków środowiskowych, technicznych oraz społecznych [36]. Proces ten wymaga przeprowadzenia tzw. oceny oddziaływania inwestycji na środowisko (OOŚ), której rzetelność będzie miała wpływ nie tylko na decyzję, dotyczącą dopuszczenia projektu do realizacji, ale także na długoterminowy wpływ MFW na lokalny ekosystem, społeczeństwo i gospodarkę. Kluczowe znaczenie ma zrównoważone podejście, maksymalnie wykorzystujące potencjał morskiej energetyki wiatrowej i możliwość bezpośredniego dostarczenia energii do istniejących sieci energetycznych na lądzie, przy jednoczesnym minimalizowaniu negatywnego wpływu na środowisko i społeczności lokalne, a także zapewnieniu szeroko pojętego bezpieczeństwa morskiego. Np. w krajach Unii Europejskiej proces ten jest regulowany przez unijne dyrektywy, a w państwach poza UE przez krajowe przepisy.

Do aktów prawnych w tym zakresie należą:

- Dyrektywa 2018/2001 w sprawie promowania stosowania energii ze źródeł odnawialnych (tzw. dyrektywa OZE) zastąpiła pierwotną dyrektywę 2009/28/WE i obecnie ustanawia ogólne cele dotyczące udziału energii odnawialnej w tzw. miksie energetycznym państw UE, zobowiązując je do zwiększenia udziału energii ze źródeł odnawialnych, w tym z morskiej energetyki wiatrowej, jako elementu dekarbonizacji [24];
- Dyrektywa 2014/89/UE, ustanawiająca ramy planowania przestrzennego obszarów morskich, zobowiązuje państwa UE do opracowania morskich planów zagospodarowania przestrzennego, które np. w Polsce powinny uwzględniać równoważenie interesów różnych użytkowników morza, w tym sektora energetyki, rybołówstwa i ochrony środowiska [23];
- Dyrektywa 2011/92/UE w sprawie oceny skutków wywieranych przez niektóre przedsięwzięcia publiczne i prywatne na środowisko (tzw. dyrektywa OOŚ), która reguluje procedury oceny oddziaływania na środowisko dużych projektów,

w tym MFW, wymagając uwzględnienia aspektów takich, jak hałas podwodny, zmiany w ekosystemach oraz potencjalne konflikty przestrzenne [22];

- Dyrektywa 2009/147/WE w sprawie ochrony dzikiego ptactwa (tzw. dyrektywa ptasia) oraz Dyrektywa 92/43/EWG w sprawie ochrony siedlisk przyrodniczych oraz dzikiej fauny i flory (tzw. dyrektywa siedliskowa), stanowiące podstawę prawną sieci obszarów chronionych Natura 2000, obejmujących także obszary morskie, nakładają na inwestorów lokalizujących MFW w tych obszarach obowiązek spełniania szczególnych wymagań w celu minimalizacji negatywnego wpływu na siedliska i gatunki chronione [20, 21].

Z kolei do najistotniejszych polskich przepisów prawnych, regulujących instalowanie MFW w polskiej wyłącznej strefie ekonomicznej¹ należą:

- Ustawa z 21 marca 1991 roku o obszarach morskich Rzeczypospolitej Polskiej i administracji morskiej, zgodnie z którą Polska opracowała plan zagospodarowania polskich obszarów morskich, który uwzględnia lokalizacje MFW oraz równoważy interesy różnych użytkowników morza, takich jak energetyka, rybołówstwo, transport morski i ochrona środowiska [70];
- Ustawa z 27 marca 2003 roku o planowaniu i zagospodarowaniu przestrzennym, dotycząca jedynie lądowych elementów infrastruktury towarzyszącej MFW, takich jak stacje przesyłowe, linie energetyczne czy węzły przyłączeniowe na lądzie [71];
- Ustawa z 3 października 2008 roku o udostępnianiu informacji o środowisku i jego ochronie, udziale społeczeństwa w ochronie środowiska oraz o ocenach oddziaływania na środowisko, implementuje unijną dyrektywę OOŚ w polskim porządku prawnym, regulując procedurę oceny oddziaływania na środowisko projektów MFW, w tym wymagania dotyczące raportu środowiskowego, konsultacji społecznych oraz uzyskania decyzji o środowiskowych uwarunkowaniach [72];
- Ustawa z 20 lutego 2015 roku o odnawialnych źródłach energii (tzw. ustawa OZE), reguluje zasady wytwarzania energii z OZE, w tym morskiej energetyki wiatrowej [73];

¹ Wyłączna strefa ekonomiczna w kontekście Polski to obszar Morza Bałtyckiego, w którym Polska, zgodnie z przepisami prawa międzynarodowego (Konwencja Narodów Zjednoczonych o prawie morza – UNCLOS) oraz przepisami krajowymi, posiada szczególne prawa do eksploatacji zasobów naturalnych i prowadzenia działalności gospodarczej. Regulacje dotyczące polskiej wyłącznej strefy ekonomicznej znajdują się m.in. w ustawie z 21 marca 1991 roku o obszarach morskich Rzeczypospolitej Polskiej i administracji morskiej [70].

- Ustawa z 17 grudnia 2020 roku o promowaniu wytwarzania energii elektrycznej z morskich farm wiatrowych (tzw. ustawa *offshore wind*), która reguluje warunki przygotowania inwestycji, a następnie zasady budowy MFW [74];
- Rozporządzenie Rady Ministrów z 14 kwietnia 2021 roku w sprawie przyjęcia planu zagospodarowania przestrzennego morskich wód wewnętrznych, morza terytorialnego i wyłącznej strefy ekonomicznej w skali 1:200 000, szczegółowo określa zasady wyznaczania lokalizacji MFW w polskich obszarach morskich, uwzględniając kryteria środowiskowe, techniczne i przestrzenne, aby zapewnić zrównoważony rozwój sektora [60].

Dyrektywy, ustawy i rozporządzenia są to dokumenty „żywe”, które podlegają ciągłym aktualizacjom w odpowiedzi na zmieniające się potrzeby i realia, czego przykładem w ostatnim czasie jest ustawa z 27 listopada 2024 roku o zmianie ustawy o promowaniu wytwarzania energii elektrycznej w morskich farmach wiatrowych, która weszła w życie 12 grudnia 2024 roku, regulując w krótkim zapisie kwestie ceny energii wytwarzanej przez te instalacje [75].

Instalowanie MFW w polskiej strefie ekonomicznej wymaga przejścia przez szereg etapów administracyjnych, zgodnych z powyższymi przepisami [5]. Pierwszym etapem jest uzyskanie decyzji o uwarunkowaniach środowiskowych. Raport oddziaływania na środowisko stanowi podstawę oceny potencjalnych skutków inwestycji. W procesie tym kluczowe są konsultacje społeczne i uzyskanie opinii organów ochrony środowiska. Następnie inwestycja powinna otrzymać zgodę na korzystanie z obszaru morskiego w danej lokalizacji, co obejmuje decyzję administracyjną, wydawaną przez właściwego dyrektora urzędu morskiego. Lokalne siedliska i gatunki chronione mogą ograniczać dostępne akweny, np. wykluczając obszary Natura 2000, których należy unikać, wybierając lokalizację. Dopiero po spełnieniu wymagań środowiskowych i przestrzennych inwestor może ubiegać się o pozwolenie na budowę, zgodnie z prawem budowlanym. Ponadto, aby zapewnić sobie finansowanie projektu MFW, inwestor może wziąć udział w aukcjach organizowanych przez państwo, w których oferuje cenę sprzedaży energii odnawialnej.

Biorąc pod uwagę zależność w kierunku przeciwnym, tj. czynników środowiskowych, wpływających na wydajność MFW, na pewno korzystne są stabilne i silne wiatry, występujące nad morzami i oceanami [10]. W porównaniu z lokalizacjami lądowymi prędkość wiatru nad obszarami morskimi jest większa

i bardziej przewidywalna. Obszary morskie są przestrzenią o tzw. klasie szorstkości² równej zero, tj. pozbawioną naturalnych i sztucznych przeszkód terenowych, takich jak budynki czy góry, które na lądzie mogą zakłócać przepływ powietrza. Taka otwarta przestrzeń pozwala na lepsze wykorzystanie potencjału wiatrowego, a także umożliwia instalację większych turbin, które generują więcej energii, co przekłada się na wyższą efektywność MFW i większą stabilność produkcji energii elektrycznej. Dzięki temu MFW mogą generować energię w sposób bardziej zrównoważony i niezawodny, a obszary morskie są chętniej wybierane pod lokalizację elektrowni wiatrowych. Analiza historycznych danych wiatrowych oraz symulacje komputerowe pomagają w wyborze lokalizacji o najwyższym potencjale energetycznym. Mimo że stabilne i silne wiatry będą sprzyjać efektywności MFW, inwestorzy powinni również uwzględnić niekorzystne warunki środowiskowe, takie jak sztormy, intensywne falowanie oraz obciążenia lodowe w chłodniejszych regionach.

Głębokość akwenu i struktura dna morskiego są kolejnymi kluczowymi elementami w wyborze lokalizacji inwestycji [49]. Płytkie wody ułatwiają instalację fundamentów, a także obniżają koszty budowy dzięki mniejszemu zapotrzebowaniu na zaawansowane technologie oraz krótszemu czasowi instalacji. Natomiast w obrębie głębszych akwenów (> 50 m) rozwiązaniem są nowoczesne konstrukcje pływające, pozwalające również na wykorzystanie potencjału wiatrowego z dala od brzegu. Ponadto na wybór typu fundamentu wpływa charakterystyka geologiczna dna morskiego: tam, gdzie podłoże jest twarde, skaliste lub niestabilne, tradycyjne fundamenty, takie jak monopale czy fundamenty grawitacyjne, mogą być trudne do zainstalowania lub wymagać kosztownych i czasochłonnych prac przygotowawczych. W takich warunkach nowoczesne konstrukcje pływające stają się optymalnym rozwiązaniem.

Decydując się na pozyskiwanie energii z MFW, trzeba się także liczyć z tym, że przesyłanie jej w głąb lądu, szczególnie na dalekie odległości może być wyzwaniem, które wiąże się z problemami technicznymi, ekonomicznymi oraz środowiskowymi [19, 31]. Przesył energii na duże odległości przez tradycyjne kable energetyczne powoduje straty energii w wyniku oporu przewodników. Im dłuższa linia przesyłowa, tym większe straty mocy. Stosowanie technologii przesyłu prądu stałego wysokiego napięcia (HVDC – ang. *High Voltage Direct Current*) zmniejsza

² Szorstkość terenu określa wpływ nierówności terenu na rozkład prędkości wiatru w funkcji wysokości. Jest podstawą tzw. klasy szorstkości terenu, przyjmującej wartość w skali od 0 (powierzchnia wody) do 4 (miasta z „drapaczami chmur”).

straty energii, zwłaszcza na długich trasach. Systemy HVDC są bardziej efektywne niż przesył prądu zmiennego na duże odległości, choć początkowe koszty ich budowy są wyższe.

Drugim wyzwaniem jest problem integracji MFW z lądową siecią energetyczną. MFW produkują dużą ilość energii, która może prowadzić do przeciążenia lokalnych sieci energetycznych, zwłaszcza w obszarach oddalonych od wielkich centrów konsumpcji energii oraz w miejscach, gdzie istniejąca infrastruktura nie jest dostosowana do odbioru tak dużych mocy. Ponadto należy pamiętać, że MFW wytwarzają energię elektryczną w sposób zależny od warunków pogodowych, co może stwarzać problem przesyłania jej na duże odległości do regionów, gdzie popyt jest stabilny. Budowa magazynów energii w pobliżu miejsc przesyłu, aby zgromadzić nadwyżki energii i dostarczać ją w momentach większego zapotrzebowania jedynie częściowo rozwiązuje ten problem.

2. ETAP BUDOWY

Budowa MFW jest najbardziej intensywną fazą cyklu życia inwestycji. Etap budowy obejmuje m.in. generowanie hałasu podwodnego i wzbudzanie osadów dennych towarzyszących wbijaniu fundamentów, transportowi i instalacji turbin wiatrowych oraz infrastruktury pomocniczej, a także układaniu kabli, które nie tylko przesyłają energię elektryczną, ale również monitorują parametry pracy elektrowni, zapewniając szybkie wykrywanie ewentualnych usterek.

W zależności od głębokości akwenu i warunków geologicznych dna morskiego stosuje się różne technologie posadowienia turbin wiatrowych. Fundamenty grawitacyjne generują mniejsze zakłócenia podczas montażu, z kolei monopale ingerują w dno morskie w sposób bardziej destrukcyjny podczas instalacji, głównie ze względu na mocowanie pali metodą wibropalowania lub wbijania. Towarzyszy temu nie tylko hałas, ale także wzbudzanie osadów dennych, które mogą zawierać zanieczyszczenia chemiczne, np. metale ciężkie, dioksyny i związki ropopochodne [15, 28, 63, 69, 78], a w przypadku Morza Bałtyckiego dodatkowo dochodzi problem zatopionej broni: chemicznej i konwencjonalnej, której największe skupiska znajdują się w regionie Głębi Bornholmskiej i Gotlandzkiej [37]. Ingerencja w dno morskie powoduje zmianę jakości wody: jej składu chemicznego oraz wzrostu zmętnienia toni wodnej, a także zmianę składu chemicznego osadów dennych. Mimo że charakter tych zmian jest zwykle krótkoterminowy, jednak może negatywnie wpłynąć na lokalne organizmy bentosowe, mające swe siedliska na dnie morskim.

Innym poważnym zagrożeniem na etapie budowy jest hałas podwodny, generowany podczas prac budowlanych [55, 66]. Może on zakłócać komunikację i orientację ssaków morskich (np. morswina bałtyckiego, którego populacja jest krytycznie zagrożona), wykorzystujących zdolność echolokacji w celu określania położenia, odległości do przeszkody, znajdowania pożywienia oraz porozumiewania się z innymi osobnikami. Dźwięki impulsowe mogą powodować poważne uszkodzenia aparatu słuchowego u ssaków morskich, a długotrwała ekspozycja na hałas może prowadzić do zmiany zachowań, unikania określonych obszarów, a nawet śmierci. Modyfikacje młotów do wbijania fundamentów lub wykorzystanie kurtyn powietrznych i osłon izolacyjnych, otaczających obszar prac i tłumiących fale dźwiękowe, pozwalają znacząco zredukować emisję dźwięków [32].

Hałas oraz wzbudzanie osadów dennych towarzyszą także posadawianiu infrastruktury pomocniczej MFW: morskich stacji elektroenergetycznych, zlokalizowanych w pobliżu farmy, przetwarzających energię wytworzoną przez turbiny, zanim zostanie ona przesłana na ląd, oraz platform serwisowych i mieszkalnych, umożliwiających długotrwałą obecność personelu w rejonie farmy, ułatwiając codzienny monitoring i konserwację.

Warunki hydrometeorologiczne, obejmujące fale, prądy morskie i warunki atmosferyczne, determinują harmonogram prac budowlanych [17, 26, 34, 40, 59]. Intensywne falowanie może uniemożliwić prace instalacyjne, zwłaszcza w wypadku fundamentów typu monopół, które wymagają stabilnych warunków podczas ich wbijania w dno morskie. Z kolei silne prądy mogą utrudniać operacje kotwiczenia i precyzyjnego pozycjonowania turbin. Nieprawidłowe osadzenie fundamentów może prowadzić do erozji lub zniszczenia struktury dna. Ponadto w rejonach o wysokiej częstotliwości sztormów budowa MFW może być czasowo wstrzymana, także z powodu uszkodzenia sprzętu, oraz przez to opóźniona, co prowadzi do wzrostu kosztów budowy.

Ocena cyklu życia MFW wymaga również uwzględnienia potencjalnych zagrożeń, takich jak awarie i wypadki, które mogą wystąpić na etapie budowy, eksploatacji oraz likwidacji [40]. Chociaż MFW są projektowane z myślą o bezpieczeństwie, to ryzyko wypadków nigdy nie może zostać całkowicie wyeliminowane. Faza budowy jest jednym z najbardziej dynamicznych etapów życia MFW. Proces instalacji fundamentów, turbin wiatrowych oraz kabli podmorskich wymaga użycia zaawansowanego sprzętu oraz zaangażowania ludzi i jednostek morskich, co wiąże się z szeregiem zagrożeń. Używany podczas budowy ciężki sprzęt i statki mogą być źródłem zanieczyszczeń chemicznych, spowodowanych przede wszystkim wyciekami paliwa i olejów oraz substancji

używanych do konserwacji sprzętu. Przedostanie się tych substancji do wód morskich w wyniku wypadków lub nieprawidłowego postępowania z chemikaliami, za sprawą ich właściwości niebezpiecznych może zagrażać organizmom morskim, powodując długotrwałe zmiany w ekosystemie, oraz niszczyć elementy infrastruktury [6].

3. ETAP EKSPLOATACJI

Podczas eksploatacji MFW, której żywotność i możliwość produkcji energii elektrycznej zazwyczaj szacuje się obecnie na 25–30 lat, prowadzone są prace serwisowe w celu utrzymania jej sprawności, efektywności oraz minimalizacji oddziaływania na środowisko. W fazie eksploatacji presja MFW na środowisko jest znacznie mniejsza niż podczas budowy. MFW mogą jednak wpłynąć na lokalne ekosystemy, np. powodując zmianę dynamiki prądów morskich i wzrost liczebności organizmów bentosowych w wyniku tworzenia sztucznych raf na fundamentach turbin.

Fundamenty turbin wiatrowych powodują zabudowę dna morskiego, a w konsekwencji zakłócenie stabilności populacji, poprzez fragmentację siedlisk lub wręcz eliminację życia przydennego ze względu na ograniczenie dostępu do kluczowych obszarów żerowiskowych i tarłowych. Fundamenty turbin wiatrowych mogą także zakłócać korytarze migracyjne ryb i ssaków morskich, które napotykać bariery na trasach przemieszczania się, nie mogą swobodnie dotrzeć do miejsc rozrodu i żerowisk. Wrażliwe gatunki mogą w związku z tym zostać trwale wyparte ze swoich naturalnych siedlisk [1, 52, 58].

MFW nie tylko podczas budowy, ale także i eksploatacji generują hałas [68]. Choć w fazie budowy jest on szczególnie intensywny, to w trakcie eksploatacji może także oddziaływać na otoczenie, w tym organizmy morskie. Źródłem hałasu podczas eksploatacji MFW jest ruch wirników turbin. Podczas ich obracania generowane są vibracje i hałas aerodynamiczny. Wiatr, wpływając na powierzchnię łopat, powoduje powstawanie dźwięków o różnej częstotliwości. Hałas ten zależy od prędkości wiatru, kształtu i rozmiaru łopat, a także od technologii zastosowanej w turbinie. Ruch mechanizmów wewnętrznych turbin, takich jak przekładnie, generatory i systemy chłodzenia, także może wytwarzać hałas, zwłaszcza w przypadku awarii lub ich nadmiernego zużycia. Kable, przesyłające energię elektryczną, mogą również generować hałas, szczególnie przy wysokich napięciach, chociaż ten rodzaj hałasu jest zazwyczaj mniej słyszalny. W większości przypadków hałas

pochodzący z turbin wiatrowych jest słyszalny w obrębie kilku kilometrów od turbiny. W miarę jak odległość od farmy wiatrowej wzrasta, hałas staje się mniej uciążliwy. Jednak w przypadku organizmów wrażliwych nawet niewielka zmiana poziomu hałasu może wpłynąć na ich zachowanie, komunikację, prowadzić do dezorientacji, zmian w nawykach migracyjnych, wystraszenia oraz utrudniać poruszanie się, żerowanie i rozmnażanie.

Hałas i wibracje generowane przez turbiny sprawiają, że MFW mogą potencjalnie zakłócać także pracę sonarów. Urządzenia te, wykorzystujące fale dźwiękowe do wykrywania obiektów pod wodą i nawigacji, mogą być częściowo narażone na interferencje dźwiękowe w obszarach MFW, polegające na odbiciu i rozpraszaniu sygnałów lub maskowaniu innych dźwięków. W konsekwencji będą działać mniej efektywnie, niedokładnie lub odbierać fałszywe sygnały. Problem ten dotyczy sonarów wojskowych, używanych do wykrywania okrętów podwodnych lub min, sonarów wykorzystywanych w rybołówstwie do lokalizowania ławic ryb, a także w badaniach dna morskiego, polegających na mapowaniu siedlisk przyrodniczych lub analizie osadów.

Nowoczesne turbiny wiatrowe są projektowane z myślą o redukcji hałasu, np. poprzez zmiany w kształcie łopat, stosowanie cichszych materiałów czy zastosowanie technologii redukcji wibracji.

Z powodu zakłóceń, wywoływanych przez MFW, Szwecja w ostatnim czasie zablokowała kilka projektów MFW, uzasadniając to względami bezpieczeństwa narodowego. Według analiz szwedzkich sił zbrojnych, MFW mogą zakłócać funkcjonowanie radarów wojskowych oraz innych systemów, wykorzystywanych do obrony, takich jak czujniki do wykrywania okrętów podwodnych i rakiet. Utrudnienia w funkcjonowaniu tych systemów mogą zmniejszyć skuteczność wykrywania zagrożeń i czas reakcji, co stanowi istotne ryzyko w kontekście obronności, zwłaszcza na obszarze Morza Bałtyckiego, które jest strategicznie ważne w związku z bliskością obwodu kaliningradzkiego. Minister obrony Szwecji, Pål Jonson, podkreślił, że takie inwestycje mogłyby w szczególności wpłynąć na czas reakcji w przypadku ataku rakietowego, wydłużając go dwukrotnie: z 60 do 120 sekund. Decyzja o odrzuceniu 13 projektów MFW na Morzu Bałtyckim opierała się na analizach ryzyka oraz potrzebie zapewnienia pełnej funkcjonalności systemów obronnych. Jednocześnie przyjęto, że rozwój energetyki wiatrowej na obszarach mniej wrażliwych strategicznie może być kontynuowany, np. na wysokości miejscowości Stenungsund w cieśninie Skagerrak, na zachodnim wybrzeżu Szwecji [84].

MFW stanowią także zagrożenie dla ptaków, szczególnie w miejscach, gdzie ich szlaki migracyjne krzyżują się z obszarami farm, ponieważ obracające się łopaty turbin mogą prowadzić do zderzeń. Jednak im dalej od brzegu, tym mniejsze jest to zagrożenie, ponieważ obszary te znajdują się poza naturalnymi szlakami migracyjnymi ptaków i miejscami ich żerowania [18].

Jednocześnie niektóre gatunki mogą skorzystać na obecności MFW, gdyż podwodne elementy konstrukcji mogą przyciągać wybrane organizmy morskie, sprzyjając rozwojowi nowych siedlisk [14, 16, 29]. Powstające sztuczne rafy zwiększają bioróżnorodność lokalnych ekosystemów. Stanowią również schronienie dla wielu gatunków, także takich, które cenią sobie ciszę i korzystają z „oazy spokoju”, która stworzyła się wokół MFW. Stosowanie zabezpieczeń erozyjnych, takich jak narzuty kamienne czy maty geosyntetyczne, dodatkowo wspiera tworzenie siedlisk organizmów bentosowych. Materiały te, osadzone na dnie morskim wokół fundamentów turbin, w celu ograniczenia uwalniania szczególnie piaszczystych osadów dennych i ich intensywnego przemieszczania, stają się miejscem bytowania glonów, mięczaków, skorupiaków i innych gatunków preferujących twarde podłoże. Z czasem zabezpieczenia erozyjne przekształcają się w funkcjonalne sztuczne rafy, przyciągając ryby i inne morskie organizmy, które wykorzystują te struktury jako schronienie, obszar żerowania lub miejsce rozmnażania. W ten sposób, mimo ingerencji w środowisko, MFW mogą w pewnych aspektach przyczyniać się do wzbogacenia lokalnej bioróżnorodności.

Kable, które przesyłają energię elektryczną wytwarzaną przez MFW, generują pole elektromagnetyczne oraz powodują lokalne nagrzewanie otaczających osadów dennych, wywierając także wpływ na organizmy morskie, zwłaszcza gatunki wrażliwe na bodźce elektromagnetyczne i termiczne [39]. Pole elektromagnetyczne oddziałuje przede wszystkim na organizmy, posiadające zdolność wykrywania pól elektrycznych lub magnetycznych, takie jak ryby migrujące (np. łososie, węgorze), które wykorzystują pole magnetyczne Ziemi do nawigacji. Pole elektromagnetyczne pochodzące z kabli może zakłócać ich orientację, a w konsekwencji powodować trudności w odnajdywaniu tras migracyjnych. Z kolei rekiny i płaszczyki posiadają elektroreceptory, pozwalające im na wykrywanie impulsów elektrycznych generowanych przez ofiary, a silne pole elektromagnetyczne pochodzące z kabli może dezorientować te gatunki lub wpływać na ich zachowanie.

Ponieważ wpływ pola elektromagnetycznego zależy od jego intensywności i odległości od kabla, to ekranowanie kabli i ich zakopywanie w dnie morskim znacząco redukuje siłę pola, ograniczając jego oddziaływanie na organizmy morskie. Z kolei ciepło emitowane przez kable podczas przesyłu energii elektrycznej

powoduje nagrzewanie otaczających je osadów dennych. Ilość generowanego ciepła zależy od mocy przesyłanej energii, izolacji kabla oraz głębokości jego zakopania w dnie morskim.

Podwyższona temperatura może wpływać na mikroorganizmy bentosowe i procesy biochemiczne w osadach, takie jak rozkład materii organicznej. Gatunki bentosowe, które żyją w stabilnych termicznie warunkach, mogą być wrażliwe na zmiany temperatury [33, 64]. Podwyższona temperatura może zakłócać ich metabolizm, rozmnażanie lub cykl życiowy. Natomiast gatunki ciepłolubne mogą osiedlać się w pobliżu kabli, gdzie temperatura jest wyższa, co może prowadzić do zmian w strukturze lokalnych ekosystemów.

Turbiny wiatrowe, zwłaszcza zgrupowane w farmach wiatrowych, działają na zasadzie hamowania wiatru, ponieważ wykorzystują jego energię do generowania elektryczności. Podczas pracy turbiny przekształcają część energii kinetycznej wiatru na energię mechaniczną, a reszta wiatru przepływa przez wirnik turbiny. Biorąc pod uwagę zasadę zachowania energii, należy pamiętać, że po przejściu przez turbinę część energii zostaje pochłonięta, a wiatr ulega osłabieniu, co prowadzi do powstania tzw. cienia wiatrowego, czyli obszaru o niższej prędkości wiatru bezpośrednio za turbiną [62]. Innymi słowy, turbina wiatrowa „zatrzymuje” część wiatru, co powoduje, że w obszarze za nią wiatr staje się słabszy, z mniejszą energią kinetyczną. Po przejściu przez wirnik turbiny wiatr nie tylko traci prędkość, ale także staje się bardziej turbulentny. Powstają wiry i nieregularności w jego przepływie, co wpływa na dalszy ruch powietrza w obrębie farmy wiatrowej.

Efekt cienia wiatru jest bardziej wyraźny w pobliżu turbiny. Gęstość i rozmieszczenie turbin w farmie wiatrowej wpływają na rozmiar oraz intensywność tego efektu. W farmach wiatrowych, charakteryzujących się ciasnym upakowaniem turbin, obszar wpływu cienia wiatru jest większy i może mieć bardziej wyraźny wpływ na wydajność takiej farmy wiatrowej. Jeśli turbiny są zbyt blisko siebie, wiatr w obszarze cienia nie jest w stanie w pełni napędzać kolejnych turbin, co zmniejsza ich wydajność i prowadzi do mniejszej produkcji energii. W związku z tym już na etapie projektowania MFW należy uwzględnić efekt cienia wiatru, aby efektywnie wykorzystać przestrzeń, minimalizując straty wydajności, spowodowane nieoptymalnym rozmieszczeniem turbin. Efekt cienia wiatru może również mieć wpływ na lokalne warunki wiatrowe oraz zmiany mikroklimatyczne [81]. Zakłócenie naturalnego przepływu powietrza może prowadzić do lokalnych zmian temperatury i wilgotności powietrza, co w konsekwencji może oddziaływać na organizmy morskie.

Chociaż faza eksploatacji MFW charakteryzuje się mniejszą intensywnością działań w porównaniu z budową, to nadal istnieje ryzyko awarii, które mogą prowadzić do poważnych skutków środowiskowych [40]. Mechanizmy turbin wiatrowych wymagają stosowania olejów hydraulicznych oraz smarów, które mogą wyciekać w wyniku uszkodzeń. Substancje te są szkodliwe dla ekosystemów morskich, a ich przedostanie się do wody może prowadzić do intoksykacji organizmów.

Innym zagrożeniem są pożary turbin wiatrowych, będące skutkiem np. przegrzania generatorów. Naturalne warunki chłodzenia, wynikające z obecności wody morskiej, zmniejszają to ryzyko w porównaniu z farmami lądowymi, wspierając wydajność systemów MFW. Niższa temperatura otoczenia sprzyja chłodzeniu generatorów i innych elementów, co zwiększa ich żywotność oraz zmniejsza ryzyko awarii, spowodowanych przegrzaniem.

Podczas eksploatacji MFW istnieje także ryzyko uszkodzenia kabli podmorskich, np. przez kotwice statków lub trawlerzy rybackie, co w konsekwencji może spowodować przerwy w dostawie energii oraz generować dodatkowe koszty, związane z naprawą [43]. Dlatego tak ważne są osłony kabli podwodnych, zmniejszające ryzyko ich uszkodzenia. MFW mogą być miejscem kolizji statków, szczególnie w przypadku ograniczonej widoczności lub awarii nawigacyjnych [6]. Taki wypadek może prowadzić do wycieku paliwa, olejów i innych substancji niebezpiecznych z uszkodzonej jednostki oraz uszkodzenia turbin lub kabli podwodnych. Rutynowe kontrole infrastruktury zmniejszają ryzyko poważnych awarii. Także systemy wczesnego wykrywania nieprawidłowości są ważnym czynnikiem prewencyjnym. Wykorzystują one czujniki monitorujące stan turbin, kabli i fundamentów, pozwalając na szybką reakcję w przypadku wykrycia problemów.

Szczegółowa analiza potencjalnych zagrożeń, związanych z eksploatacją MFW, oraz opracowanie scenariuszy reagowania na wypadki, a także szkolenia personelu, pozwalają odpowiednio zaplanować działania zapobiegawcze, zmniejszyć wystąpienie błędów ludzkich, a w razie wypadku – szybko i skutecznie działać.

MFW wpływają nie tylko na środowisko naturalne, ale także na działalność człowieka oraz na gospodarkę [2, 30, 61]. Z jednej strony inwestycje w morską energetykę wiatrową generują nowe miejsca pracy w sektorze budowlanym, serwisowym i naukowo-badawczym. Rozwój lokalnej infrastruktury portowej i logistycznej oraz zwiększenie wpływów z podatków stanowią dodatkowe korzyści dla społeczności nadmorskich [2, 30]. Z drugiej strony MFW mogą wywoływać sprzeciw różnych grup społecznych, który często pojawia się już na etapie planowania i budowy inwestycji.

Rybołówstwo, turystyka i transport morski są to sektory, które mogą najbardziej odczuć negatywne skutki realizacji tych inwestycji oraz konkurencji o użytkowanie obszarów morskich. Opór lokalnych społeczności i konflikty mogą wynikać z ograniczenia dostępu do obszarów morskich i łowisk, zmiany krajobrazu lub obaw związanych z potencjalnymi zagrożeniami środowiskowymi. Rybacy stanowią jedną z grup, która może generować konflikty społeczne, związane z morską energetyką wiatrową. MFW są często przez rybaków postrzegane negatywnie, głównie z powodu obaw o utratę dostępu do łowisk w obszarach zajmowanych przez farmy oraz potencjalnego negatywnego wpływu instalacji na migrację i populację ryb i w konsekwencji utraty dochodów.

Oprócz rybaków, branża turystyczna oraz sami turyści również wyrażają obawy związane z MFW, wskazując na możliwość negatywnego odbioru zmienionego krajobrazu morskiego, który może wpłynąć na atrakcyjność turystyczną regionu, nawet pomimo lokalizowania farm wiatrowych w odległości kilkudziesięciu kilometrów od brzegu, gdy są praktycznie niewidoczne z lądu.

Aby zminimalizować ryzyko konfliktów, kluczowe jest zaangażowanie lokalnych społeczności w proces planowania i konsultacji. Transparentność, edukacja i uwzględnienie interesów różnych grup interesariuszy stanowią fundamenty efektywnej współpracy. Udział społeczeństwa w procesach decyzyjnych, takich jak ocena oddziaływania na środowisko, pozwala na lepsze zrozumienie korzyści i zagrożeń związanych z morską energetyką wiatrową. Mechanizmy te sprzyjają budowaniu zaufania i akceptacji społecznej [61].

Po zakończeniu budowy i uruchomieniu MFW infrastruktura narażona jest na ciągły wpływ środowiska morskiego. Zasolenie wody oraz wysoka wilgotność powietrza już podczas budowy MFW mają wpływ na jej elementy, głównie metalowe, które w tych warunkach są szczególnie narażone na korozję, powodującą ich degradację [7, 11, 56]. Aby zwiększyć odporność na korozję, stosuje się nowoczesne materiały i powłoki antykorozyjne, tj. specjalne farby na bazie żywic epoksydowych, chroniące metalowe powierzchnie przed wpływem agresywnych czynników środowiskowych. Alternatywą powłok antykorozyjnych jest tzw. ochrona anodowa. Metoda ta wymaga użycia prądu elektrycznego i polega na zamontowaniu katod, wykonanych z materiałów aktywnych na chronionych metalowych częściach, podczas gdy chroniony metal pełni funkcję anody. W utworzonym obwodzie elektrycznym korozji ulegają katody zamiast kluczowych elementów chronionej konstrukcji. Innym rozwiązaniem jest stosowanie materiałów kompozytowych, takich jak włókno szklane lub węglowe do produkcji elementów konstrukcyjnych, odpornych na korozję.

Podczas eksploatacji MFW są także narażone na ciągle obciążenia dynamiczne, takie jak fale uderzeniowe oraz obciążenia wiatrowe, które powodują dodatkowe naprężenia konstrukcyjne, prowadząc do tzw. zmęczenia materiału i stopniowego uszkodzenia konstrukcji [80]. W dłuższym okresie może to prowadzić do mikropęknięć i osłabienia konstrukcji turbin. W regionach o wysokiej częstotliwości sztormów MFW powinny być projektowane z uwzględnieniem zwiększonej wytrzymałości na ekstremalne warunki. Dodatkowo zaawansowane systemy monitorowania pozwalają na przewidywanie zmian warunków środowiska morskiego i szybką reakcję. W tym wypadku zastosowanie czujników fal i prądów morskich umożliwia dostosowanie pracy turbin do panujących w danej chwili warunków atmosferycznych.

W chłodniejszych regionach, takich jak np. północny obszar Morza Bałtyckiego, istnieje ryzyko oblodzenia i tworzenia się pokryw lodowych na turbinach i ich fundamentach [54]. Zjawisko to zmniejsza wydajność turbin, a w skrajnych przypadkach może prowadzić do uszkodzenia ich mechanizmów. Oblodzenie łopat wirnika wpływa na aerodynamikę turbiny, ograniczając jej zdolność do efektywnego generowania energii. Dodatkowa masa lodu na łopatach i wieży turbin powoduje większe obciążenia mechaniczne, co może prowadzić do szybszego zużycia elementów lub ich awarii. Fundamenty turbin, narażone na kontakt z lodem, mogą również ulegać mechanicznym uszkodzeniom, szczególnie w przypadku przemieszczających się pokryw lodowych, które wywierają duży nacisk na konstrukcję. Dodatkowym zagrożeniem jest odrzut kawałków lodu, które mogą zostać oderwane od obracających się łopat turbiny. Lód może być wyrzucany na duże odległości, co stwarza ryzyko uszkodzeń pobliskiej infrastruktury oraz statków znajdujących się w pobliżu MFW.

W przypadku, gdy turbina nie pracuje, istnieje ryzyko zsunięcia się lodu z łopat lub innych elementów konstrukcji, co również może prowadzić do zagrożeń mechanicznych i środowiskowych. Aby zminimalizować skutki tego zjawiska, stosuje się technologie zapobiegawcze, wśród których najczęściej stosowane są systemy odładzania łopat, wykorzystujące grzałki elektryczne, gorące powietrze lub specjalne płyny odładzające [50, 79]. Z kolei stosowanie powłok hydrofobowych zmniejsza przyczepność lodu do powierzchni, co ogranicza jego gromadzenie [38].

W projektach MFW w regionach o wysokim ryzyku oblodzenia uwzględnia się także dodatkowe wzmocnienia fundamentów i mechanizmów. Niemniej jednak oblodzenie pozostaje istotnym wyzwaniem operacyjnym, które zwiększa koszty utrzymania i wymaga szczególnej uwagi w planowaniu eksploatacji MFW w warunkach ekstremalnych zim.

Elementy MFW są także narażone na działalność biologiczną. Tzw. *biofouling* jest to proces osadzania się organizmów morskich (glonów, mięczaków, skorupiaków) na podwodnych elementach infrastruktury, takich jak fundamenty i kable [11, 46]. Organizmy te zwiększają opór hydrodynamiczny i obciążenia mechaniczne. Regularne czyszczenie elementów konstrukcji jest zatem konieczne, jednak generuje dodatkowe koszty eksploatacyjne.

Środowisko może również wpływać na efektywność samej produkcji energii. Zmiany prędkości i kierunku wiatru, choć w większości korzystne, mogą prowadzić do wahań w generowaniu mocy [8, 12, 13]. Np. Morze Bałtyckie oferuje stabilne warunki wiatrowe, ale prędkość wiatru jest niższa niż na otwartym Oceanie Atlantyckim. Niższa prędkość ma jednak swoje zalety: mniejsze ryzyko uszkodzenia turbin oraz ich dłuższą żywotność. Średnia prędkość wiatru na Morzu Bałtyckim wynosi od 7 do 10 m/s na wysokości turbiny, co umożliwia efektywne pozyskiwanie energii elektrycznej.

Pomimo że MFW zazwyczaj korzystają z bardziej stabilnych i silniejszych wiatrów niż te na lądzie, zdarzają się okresy stagnacji, które mogą czasowo obniżyć produkcję energii elektrycznej. Pory tzw. ciemnej flauty odnoszą się do okresów, w których mała prędkość wiatru wraz z towarzyszącym dużym zachmurzeniem i w związku z tym ograniczoną produkcją energii z promieniowania słonecznego są niewystarczające do efektywnego generowania energii elektrycznej. Sytuacje takie, najczęściej mające miejsce w jesienne i zimowe dni, mogą utrzymywać się nawet kilkanaście dni, prowadząc do niedoboru energii elektrycznej w sieci, co zagraża stabilności jej dostaw. Pokazują także, że energetyka wiatrowa, choć wydajna, nie może być jedynym źródłem energii, o czym m.in. przekonali się Niemcy w listopadzie 2024 roku [85]. Operatorzy sieci energetycznych powinni posiadać zintegrowane rezerwowe źródła energii, które mogą być szybko uruchamiane w wypadku trudności w pokryciu zapotrzebowania na energię. Aby zrównoważyć braki w pozyskiwaniu energii z MFW, w takich okresach konieczne jest zwiększenie wykorzystania źródeł konwencjonalnych, które w tym wypadku są niezawodne i jako źródła rezerwowe z powodzeniem mogą kompensować brak energii wiatrowej.

Innym rozwiązaniem problemu niestabilności produkcji energii elektrycznej w MFW jest rozwój magazynów energii [3, 25, 27, 51, 82]. Magazyny energii, takie jak baterie litowo-jonowe, elektrownie szczytowo-pompowe, sprężonego powietrza, czy technologie wodorowe, superkondensatory i magazyny energii cieplnej są kluczowe w łagodzeniu skutków flauty. Pozwalają na przechowywanie energii wytworzonej w okresach nadwyżek i jej wykorzystanie w momentach niedoboru.

Jednak każde z tych rozwiązań ma swoje unikatowe zalety i wady, co sprawia, że ich zastosowanie wiąże się również z wyzwaniami, takimi jak wysokie koszty budowy i utrzymania, ograniczona pojemność w przypadku niektórych technologii, dostęp do surowców (np. lit i kobalt), z których są wykonane, oraz wpływ na środowisko związany z produkcją i utylizacją materiałów, szczególnie w przypadku baterii litowo-jonowych.

Nowoczesne systemy zarządzania siecią elektroenergetyczną mogą przewidywać okresy bezwietrzne na podstawie prognoz meteorologicznych i odpowiednio dostosowywać przepływy energii. Dzięki temu możliwe jest wcześniejsze uruchomienie źródeł rezerwowych lub magazynów energii.

4. ETAP LIKWIDACJI

Po zakończeniu eksploatacji instalacje MFW są demontowane tak, aby obszar morski został przywrócony do stanu pierwotnego [67]. Jest to kolejny etap, w którym występuje dwukierunkowa relacja pomiędzy MFW a środowiskiem morskim. Likwidacja MFW, choć jest końcowym etapem jej pracy na morzu, wiąże się z podobnymi wyzwaniami jak faza budowy. Proces demontażu infrastruktury wymaga zastosowania ciężkiego sprzętu i prowadzenia prac na dużej skalę, co zwiększa ryzyko wypadków. Usuwanie fundamentów i kabli ponownie wzburza osady dennie i generuje hałas, co może wpłynąć na lokalne organizmy.

Elementy MFW są wykonane z materiałów, które mogą być poddane recyklingowi, np. stal z wież turbin czy miedź z kabli mogą być ponownie wykorzystane jako surowce. Proces ten może być jednak ograniczony i utrudniony przez stopień degradacji materiałów, wynikający z wieloletniego narażenia na warunki morskie oraz poddanie ich długotrwałej korozji i biofoulingowi, co dodatkowo zwiększa koszty demontażu.

Demontaż MFW otwiera możliwość ponownego wykorzystania ich elementów w różnych sektorach gospodarki. Zamiast utylizacji wiele komponentów MFW może znaleźć nowe, innowacyjne zastosowania w budownictwie, infrastrukturze publicznej, a także sztuce lub edukacji [42, 77]. Taka strategia wpisuje się w koncepcję gospodarki o obiegu zamkniętym, zmniejszając ilość odpadów i promując bardziej zrównoważone podejście do zarządzania surowcami [44, 76].

Łopaty turbin wiatrowych, wykonane z kompozytów wzmocnionych włóknem szklanym lub węglowym, z powodu ich trwałości i odporności na korozję na etapie likwidacji MFW stają się kłopotliwe ze względu na trudności ich recyklingu

[9, 57, 65]. Niemniej jednak ich unikatowe właściwości sprawiają, że mogą być ponownie wykorzystane w różnych projektach. Pocięte łopaty turbin mogą być używane jako elementy konstrukcyjne wiat przystankowych, oferując trwałość, a ich aerodynamiczne kształty idealnie nadają się do tego celu, zapewniając ochronę przed wiatrem i deszczem. Fragmenty łopat mogą być przekształcone w ławki, stoły lub altany, które znajdą zastosowanie w parkach, na skwerach czy w miejscach publicznych. Charakterystyczny, nowoczesny wygląd łopat może być wykorzystany jako element artystyczny w przestrzeniach publicznych. Ze względu na swoją wytrzymałość łopaty mogą być używane jako elementy konstrukcyjne w budowie małych mostów dla pieszych w parkach lub nad strumieniami.

Wraz z rozwojem technologii pojawiają się innowacyjne pomysły na wykorzystanie elementów MFW – kompozyty z łopat turbin mogą być przetwarzane na panele dźwiękochłonne, które znajdą zastosowanie także w budownictwie. Po odpowiednim przetworzeniu włókno szklane i inne kompozyty mogą być wykorzystywane jako surowiec w technologii druku 3D. Z kolei wieże turbin wiatrowych są wykonane głównie ze stali, co czyni je surowcem nadającym się do recyklingu lub ponownego wykorzystania w projektach budowlanych. Demontowane wieże mogą być cięte i wykorzystywane jako stalowe elementy nośne w budownictwie, np. w halach przemysłowych, wiatkach czy magazynach. Fragmenty wież można przekształcić w maszty oświetleniowe na parkingach, wzdłuż dróg lub w portach. Z kolei zachowane fragmenty wież, szczególnie w strefach brzegowych, mogą być przekształcone w platformy widokowe. Natomiast fundamenty turbin, wykonane głównie z betonu i stali, mogą być kruszone i przetwarzane na kruszywo, wykorzystywane do budowy dróg, chodników i fundamentów budynków. W regionach przybrzeżnych fundamenty mogą być zatapiane jako elementy falochronów lub sztucznych raf, które wspierają rozwój morskich ekosystemów.

Kable podmorskie zawierają miedź i inne metale, które mają wysoką wartość recyklingową, a ich ponowne wykorzystanie może być korzystne ekonomicznie [45]. Miedź z kabli może być odzyskana i ponownie użyta do produkcji nowych przewodów elektrycznych, co zmniejsza zapotrzebowanie na wydobycie surowców. Natomiast kable, które zachowały swoją funkcjonalność, oraz stacje transformatorowe zdemontowane z MFW mogą być nadal używane, tym razem w lądowych sieciach energetycznych. Elementy MFW mogą pełnić także funkcję edukacyjną jako eksponaty w muzeach nauki. Wycofane fragmenty turbin i ich części mechaniczne mogą być prezentowane jako eksponaty w muzeach technologicznych

lub wykorzystywane jako pomoce dydaktyczne w szkołach technicznych, umożliwiając naukę z użyciem urządzeń rzeczywistych.

Alternatywą demontażu MFW jest tzw. *repowering*, czyli modernizacja istniejącej infrastruktury w celu zwiększenia jej wydajności [41, 48]. W praktyce oznacza to demontaż oraz budowę nowych i bardziej wydajnych turbin wiatrowych w dotychczasowej lokalizacji, co będzie się wiązać z podobnymi wyzwaniami, jak te, które występowały podczas etapu budowy MFW.

PODSUMOWANIE

MFW funkcjonują w złożonej relacji ze środowiskiem morskim, które wpływa na ich działanie zarówno pozytywnie, jak i negatywnie. Stabilność wiatru i otwarte przestrzenie morskie bez przeszkód terenowych wspierają efektywność energetyczną tych instalacji. Jednak jednocześnie czynniki takie jak korozja, falowanie, biofouling czy obciążenia lodowe stanowią poważne wyzwania, wymagające zastosowania nowoczesnych rozwiązań technologicznych oraz skutecznych metod zarządzania ryzykiem.

MFW są powszechnie uznawane za odnawialne źródło energii o niskiej emisji dwutlenku węgla podczas eksploatacji, jednak uwzględniając ich pełny cykl życia, generują znaczące emisje tzw. ekwiwalentu dwutlenku węgla – eCO_2 na różnych etapach. Wydobywanie i przetwarzanie surowców potrzebnych do produkcji MFW, produkcja materiałów i wytwarzanie komponentów, następnie ich transport na miejsce budowy, a także serwisowanie całej infrastruktury, wymagają dużych ilości energii, która w wielu przypadkach pochodzi z paliw kopalnych.

Znane są także kontrowersyjne przypadki, gdy generatory diesla zastosowano do ogrzewania turbin wiatrowych, które zamarzły w skrajnych warunkach zimowych. Sytuacja taka miała miejsce m.in. w Szkocji, w grudniu 2022 roku. Scottish Power, firma zarządzająca farmami, potwierdziła, że wówczas ponad 70 turbin na farmach wiatrowych Areacleoch i Glen App zostało podłączonych do sześciu ogromnych generatorów diesla w celu utrzymania ich sprawności operacyjnej [83]. Mimo że przytoczona sytuacja dotyczyła lądowych farm wiatrowych, problem oblodzenia może także występować w przypadku MFW. Z uwagi na te aspekty oraz związane z nimi emisje, wskazane jest uwzględnianie wszystkich etapów cyklu życia MFW w kompleksowych analizach środowiskowych. Tylko takie podejście pozwala dokładnie oszacować rzeczywisty tzw. ślad węglowy tych instalacji i ocenić ich faktyczny wpływ na środowisko.

W pracy zidentyfikowano jakościowo zagrożenia i ryzyka związane z MFW. Identyfikacja potencjalnych zagrożeń na każdym etapie życia MFW stanowi podstawę opracowania strategii zarządzania ryzykiem w celu wdrożenia działań ich minimalizacji i łagodzenia.

Przykładowo, na etapie planowania ważne jest przeprowadzenie szczegółowych badań środowiskowych i analiz lokalizacji, aby unikać obszarów o wysokiej wartości ekologicznej, oraz minimalizować potencjalne konflikty społeczne poprzez konsultacje z lokalnymi społecznościami.

W fazie budowy i likwidacji warto m.in. stosować osłony akustyczne, aby ograniczyć negatywny wpływ hałasu na ssaki morskie, oraz realizować prace w okresach najmniejszej aktywności biologicznej organizmów morskich, odpowiednio dostosowując harmonogram prac, jednocześnie wykonując je w sprzyjających warunkach pogodowych, aby zminimalizować ryzyko wypadków.

W trakcie eksploatacji należy korzystać z czujników monitorujących stan kabli, fundamentów i turbin w czasie rzeczywistym, a także regularnie wykonywać przeglądy, co pozwala na wczesne wykrywanie usterek.

Wszystkie etapy życia MFW – od planowania i budowy, przez eksploatację, aż po likwidację – charakteryzują się ciągłą interakcją między infrastrukturą a środowiskiem. Etapy budowy i demontażu wiążą się z największą presją na ekosystemy, podczas gdy w fazie eksploatacyjnej oddziaływania mają bardziej zróżnicowany charakter.

Wpływ środowiska na farmy wiatrowe jest równie istotny, ponieważ zasolenie, ruch fal, procesy korozyjne i narastanie organizmów na strukturach podwodnych mogą znacząco obniżać ich trwałość i wydajność.

Kluczowym wyzwaniem, stojącym przed morską energetyką wiatrową, jest optymalne zarządzanie tymi interakcjami. Starannie zaplanowane działania, w połączeniu z zaawansowanymi technologiami ochronnymi i systematycznym monitorowaniem warunków środowiskowych, są niezbędne w celu zrównoważonego rozwoju tej branży. Postęp technologiczny oraz rosnące doświadczenie w eksploatacji MFW pozwalają lepiej dostosowywać je do trudnych warunków morskich, takich jak ekstremalne sztormy czy zlodzenia, zwiększając ich niezawodność i efektywność.

Pomimo swoich zalet MFW nie są rozwiązaniem pozbawionym ograniczeń. Są one zależne od warunków pogodowych, a ich instalacja oraz eksploatacja wywierają zarówno pozytywny, jak i negatywny wpływ na ekosystemy morskie. W związku z tym morska energetyka wiatrowa powinna być jednym z elementów zróżnicowanego systemu energetycznego.

Integracja MFW z innymi źródłami energii oraz technologiami zapewniającymi stabilność dostaw jest kluczowa w osiągnięciu bezpieczeństwa energetycznego. Tylko różnorodny i zrównoważony „miks energetyczny” pozwoli na unikanie kryzysów w dostawach energii oraz spełnienie globalnych potrzeb energetycznych.

BIBLIOGRAFIA

1. Abramic A., Cordero-Penin V., Haroun R., *Environmental Impact Assessment Framework for Offshore Wind Energy Developments Based on the Marine Good Environmental Status*, Environmental Impact Assessment Review, 2022, 97.
2. Alem M., Herberz T., Karanayil V.S., Fardin A.A.H., *A Qualitative Meta-analysis of the Socioeconomic Impacts of Offshore Wind Farms*, Sustinere: Journal of Environment and Sustainability, 2020, 4(3).
3. Anaya-Lara O., Campos-Gaona D., Moreno-Goytia E., Adam G., *Offshore Wind Energy Generation: Control, Protection, and Integration to Electrical Systems*, John Wiley & Sons, 2014.
4. Atilgan Turkmen B., Germirli Babuna, F., *Life Cycle Environmental Impacts of Wind Turbines: A Path to Sustainability with Challenges*, Sustainability, 2024, 16.
5. Baehr M., Lissoń P., Pokrzywniak J., Szambelańczyk M. (red.), *Ustawa o odnawialnych źródłach energii. Komentarz*, Wolters Kluwer, Warszawa 2016.
6. Bogalecka M., *Consequences of Maritime Critical Infrastructure Accidents. Environmental Impacts Modeling – Identification – Prediction – Optimization – Mitigation*, Elsevier, Amsterdam, Oxford, Cambridge 2020.
7. Brijder R., Hagen C.H., Cortés A., Irizar A., Thibbotuwa U.C., Helsen S., Vásquez S., Ompusunggu A.P., *Review of Corrosion Monitoring and Prognostics in Offshore Wind Turbine Structures: Current Status and Feasible Approaches*, Frontiers in Energy Research, 2022, 10.
8. Broström G., *On the Influence of Large Wind Farms on the Upper Ocean Circulation*, Journal of Marine Systems, 2008, 74(1–2).
9. Bulińska S., Sujak A., Pyzalski M., *From Waste to Renewables: Challenges and Opportunities in Recycling Glass Fibre Composite Products from Wind Turbine Blades for Sustainable Cement Production*, Sustainability, 2024, 16(12).
10. Burton T.L., Jenkins N., Bossanyi E., Sharpe D., Graham M., *Wind Energy Handbook*, John Wiley & Sons, 2021.
11. Canning C., *Corrosion and Biofouling of Offshore Wind Monopile Foundations* (doctoral dissertation), University of Edinburgh, Edynburg 2020.
12. Carpenter J.R., Guha A., *Blocking Effects on Mean Ocean Currents by Offshore Wind Farm Foundations*, Physical Review Fluids, 2024, 9(10).

13. Clark S., Schroeder F., Baschek B., *The Influence of Large Offshore Wind Farms on the North Sea and Baltic Sea: A Comprehensive Literature Review*, Geesthacht, Helmholtz-Zentrum Geesthacht, Zentrum für Material-und Küstenforschung, 2014.
14. Coolen J.W., Van Der Weide B., Cuperus J., Blomberg M., Van Moorsel G.W., Faasse M.A., Bos O.G., Degraer S., Lindeboom H.J., *Benthic Biodiversity on Old Platforms, Young Wind Farms, and Rocky Reefs*, ICES Journal of Marine Science, 2020, 77(3).
15. Degraer S., Brabant R., Rumes B., Vigin L. (red.), *Environmental Impacts of Offshore Wind Farms: Monitoring, Results, and Insights from the Belgian Part of the North Sea*, Royal Belgian Institute of Natural Sciences, Bruksela 2016.
16. Degraer S., Carey D.A., Coolen J.W., Hutchison Z.L., Kerckhof F., Rumes B., Vanaverbeke J., *Offshore Wind Farm Artificial Reefs Affect Ecosystem Structure and Functioning*, Oceanography, 2020, 33(4).
17. Díaz H., Soares C.G., *Review of the Current Status, Technology and Future Trends of Offshore Wind Farms*, Ocean Engineering, 2020, 209.
18. Dierschke V., Furness R.W., Garthe S., *Seabirds and Offshore Wind Farms in European Waters: Avoidance and Attraction*, Biological Conservation, 2016, 202.
19. Dinh V.N., McKeogh E., *Offshore Wind Energy: Technology Opportunities and Challenges*, [w:] Randolph M., Doan D., Tang A., Bui M., Dinh V. (red.), *Proceedings of the 1st Vietnam Symposium on Advances in Offshore Engineering*, VSOE 2018, Lecture Notes in Civil Engineering, vol. 18, Springer, Singapore 2019.
20. Dyrektywa 92/43/EWG w sprawie ochrony siedlisk przyrodniczych oraz dzikiej fauny i flory, DzU UE.L.1992.206.7.
21. Dyrektywa 2009/147/WE w sprawie ochrony dzikiego ptactwa, DzU UE.L.2010.20.7.
22. Dyrektywa 2011/92/UE w sprawie oceny skutków wywieranych przez niektóre przedsięwzięcia publiczne i prywatne na środowisko, DzU UE.L.2012.26.1.
23. Dyrektywa 2014/89/UE ustanawiająca ramy planowania przestrzennego obszarów morskich, DzU UE.L.2014.257.135.
24. Dyrektywa 2018/2001 w sprawie promowania stosowania energii ze źródeł odnawialnych, DzU UE.L.2018.328.82.
25. Fernández-Guillamón A., Das K., Cutululis N.A., Molina-García Á., *Offshore Wind Power Integration into Future Power Systems: Overview and Trends*, Journal of Marine Science and Engineering, 2019, 7(11).
26. Fischereit J., Larsén X.G., Hahmann A.N., *Climatic Impacts of Wind-Wave-Wake Interactions in Offshore Wind Farms*, Frontiers in Energy Research, 2022, 10.
27. Gao Q., Bechlenberg A., Jayawardhana B., Ertugrul N., Vakis A.I., Ding B., *Techno-economic Assessment of Offshore Wind and Hybrid Wind-Wave Farms with Energy Storage Systems*, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2024, 192.
28. Gill A.B., *Offshore Renewable Energy: Ecological Implications of Generating Electricity in the Coastal Zone*, Journal of Applied Ecology, 2005, 42(4).
29. Glarou M., Zrust M., Svendsen J.C., *Using Artificial-Reef Knowledge to Enhance the Ecological Function of Offshore Wind Turbine Foundations: Implications for Fish Abundance and Diversity*, Journal of Marine Science and Engineering, 2020, 8(5).

30. Glasson J., Durning B., Welch K., Olorundami T., *The Local Socio-economic Impacts of Offshore Wind Farms*, Environmental Impact Assessment Review, 2022, 95.
31. Glover J.D., Sarma M.S., Overbye T.J., *Power System Analysis and Design*, Cengage Learning, 2016.
32. Górski W., Koza R., Pawliczka vel Pawlik I., *Instrukcja minimalizowania hałasu podwodnego jako istotnego zagrożenia dla morświna *Phocoena phocoena* w Morzu Bałtyckim*, Raport naukowo-badawczy Uniwersytetu Gdańskiego, Gdańsk 2019.
33. Gulski E., Anders G.J., Jongen R.A., Parciak J., Siemiński J., Piesowicz E., Paszkiewicz S., Irska I., *Discussion of Electrical and Thermal Aspects of Offshore Wind Farms' Power Cables Reliability*, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2021, 151.
34. Guo Y., Wang H., Lian J., *Review of Integrated Installation Technologies for Offshore Wind Turbines: Current Progress and Future Development Trends*, Energy Conversion and Management, 2022, 255.
35. Gupta R.K., *Advancements in Offshore Wind Energy Technology: Challenges and Opportunities for Sustainable Power Generation*, Indian Journal of Renewable Energy, 2024, 1(1).
36. Hau E., *Wind Turbines: Fundamentals, Technologies, Application, Economics*, Springer, Berlin – Heidelberg 2013.
37. HELCOM, *Chemical Munitions Dumped in the Baltic Sea. Report of the ad hoc Expert Group to Update and Review the Existing Information on Dumped Chemical Munitions in the Baltic Sea (HELCOM MUNI)*, Baltic Sea Environment Proceeding, 2013, 142.
38. Huang W., Huang J., Guo Z., Liu W., *Icephobic/Anti-icing Properties of Super-hydrophobic Surfaces*, Advances in Colloid and Interface Science, 2022, 304.
39. Hutchison Z., Sigray P., He H., Gill A.B., King J., Gibson C., *Electromagnetic Field (EMF) Impacts on Elasmobranch (Shark, Rays, and Skates) and American Lobster Movement and Migration from Direct Current Cables*, Sterling (VA): US Department of the Interior, Bureau of Ocean Energy Management, OCS Study BOEM, 2018, 3.
40. Ioannou A., Angus A., Brennan F., *A Lifecycle Techno-economic Model of Offshore Wind Energy for Different Entry and Exit Instances*, Applied Energy, 2018, 221.
41. Jadali A.M., Ioannou A., Salonitis K., Kolios A., *Decommissioning vs. Repowering of Offshore Wind Farms – A Techno-economic Assessment*, The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2021, 112.
42. Jensen J.P., Skelton K., *Wind Turbine Blade Recycling: Experiences, Challenges and Possibilities in a Circular Economy*, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2018, 97.
43. Lazakis I., Kougioumtzoglou M.A., *Assessing Offshore Wind Turbine Reliability and Availability*, Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part M: Journal of Engineering for the Maritime Environment, 2019, 233(1).
44. Li C., Mogollón J.M., Tukker A., Dong J., von Terzi D., Zhang C., Steubing B., *Future Material Requirements for Global Sustainable Offshore Wind Energy Development*, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2022, 164.

45. Li L., Liu G., Pan D., Wang W., Wu Y., Zuo T., *Overview of the Recycling Technology for Copper-containing Cables*, Resources, Conservation and Recycling, 2017, 126.
46. Maduka M., Schoefs F., Thiagarajan K., Bates A., *Hydrodynamic Effects of Biofouling-Induced Surface Roughness – Review and Research Gaps for Shallow Water Offshore Wind Energy Structures*, Ocean Engineering, 2023, 272.
47. Manwell J.F., McGowan J.G., Rogers A.L., *Wind Energy Explained, Theory, Design and Application*, John Wiley & Sons, 2009.
48. Martínez E., Latorre-Biel J.I., Jiménez E., Sanz F., Blanco J., *Life Cycle Assessment of a Wind Farm Repowering Process*, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2018, 93.
49. Musial W., Ram B., *Large-Scale Offshore Wind Power in the United States: Assessment of Opportunities and Barriers*, National Renewable Energy Laboratory, 2010.
50. Parent O., Ilinca A., *Anti-icing and De-icing Techniques for Wind Turbines: Critical Review*, Cold Regions Science and Technology, 2011, 65(1).
51. Paul S., Nath A.P., Rather Z.H., *A Multi-objective Planning Framework for Coordinated Generation from Offshore Wind Farm and Battery Energy Storage System*, IEEE Transactions on Sustainable Energy, 2019, 11(4).
52. Pezy J.P., Raoux A., Dauvin J.C., *An Ecosystem Approach for Studying the Impact of Offshore Wind Farms: A French Case Study*, ICES Journal of Marine Science, 2020, 77(3).
53. Piasecka I., Tomporowski A., Flizikowski J., Kruszelnicka W., Kasner R., Mroziński A., *Life Cycle Analysis of Ecological Impacts of an Offshore and a Land-based Wind Power Plant*, Applied Sciences, 2019, 9(2).
54. Popko W., *Impact of Sea Ice Loads on Global Dynamics of Offshore Wind Turbines*, Fraunhofer Verlag, Stuttgart 2020.
55. Popper A.N., Sisneros J., Hawkins A.D., Thomsen F., *The Effects of Noise on Aquatic Life*, Springer, Cham, 2024.
56. Price S.J., Figueira R.B., *Corrosion Protection Systems and Fatigue Corrosion in Offshore Wind Structures: Current Status and Future Perspectives*, Coatings, 2017, 7(2).
57. Psomopoulos C.S., Kalkanis K., Kaminaris S., Ioannidis G.C., Pachos P., *A Review of the Potential for the Recovery of Wind Turbine Blade Waste Materials*, Recycling, 2019, 4(1).
58. Raoux A., Tecchio S., Pezy J.P., Lassalle G., Degraer S., Wilhelmsson D., Cachera M., Ernande B., Le Guen C., Haraldsson M., Grangeré K., Le Loc'h F., Dauvin J.-C., Niquil N., *Benthic and Fish Aggregation Inside an Offshore Wind Farm: Which Effects on the Trophic Web Functioning?* Ecological Indicators, 2017, 72.
59. Röckmann C., Lagerveld S., Stavenuiter J., *Operation and Maintenance Costs of Offshore Wind Farms and Potential Multi-use Platforms in the Dutch North Sea [w:]* Buck B., Langan R. (red.) *Aquaculture Perspective of Multi-Use Sites in the Open Ocean*, Springer, Cham, 2017.

60. Rozporządzenie Rady Ministrów z 14 kwietnia 2021 roku w sprawie przyjęcia planu zagospodarowania przestrzennego morskich wód wewnętrznych, morza terytorialnego i wyłącznej strefy ekonomicznej w skali 1:200 000, DzU, 2021, poz. 935.
61. Soma K., Haggett C., *Enhancing Social Acceptance in Marine Governance in Europe*, Ocean & Coastal Management, 2015, 117.
62. Stevens R.J., Gayme D.F., Meneveau C., *Effects of Turbine Spacing on the Power Output of Extended Wind-Farms*, Wind Energy, 2016, 19(2).
63. Svendsen J.C., Ibanez-Erquiaga B., Savina E., Wilms T., *Effects of Operational Off-shore Wind Farms on Fishes and Fisheries. Review Report*, DTU Aqua, DTU Aqua-rapport No. 411–2022, 2022.
64. Taormina B., Bald J., Want A., Thouzeau G., Lejart M., Desroy N., Carlier A., *A Review of Potential Impacts of Submarine Power Cables on the Marine Environment: Knowledge Gaps, Recommendations and Future Directions*, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2018, 96.
65. Tazi N., Kim J., Bouzidi Y., Chatelet E., Liu G., *Waste and Material Flow Analysis in the End-of-Life Wind Energy System*, Resources, Conservation and Recycling, 2019, 145.
66. Thomsen F., Lüdemann K., Kafemann R., Piper W., *Effects of Offshore Wind Farm Noise on Marine Mammals and Fish*, Biola, Hamburg 2006.
67. Topham E., Gonzalez E., McMillan D., João E., *Challenges of Decommissioning Offshore Wind Farms: Overview of the European Experience*, Journal of Physics: Conference Series, IOP Publishing, 2019, 1222(1).
68. Tougaard J., Hermannsen L., Madsen P.T., *How Loud is the Underwater Noise from Operating Offshore Wind Turbines?* Journal of the Acoustical Society of America, 2020, 148(5).
69. Tsouvalas A., *Underwater Noise Emission Due to Offshore Pile Installation: A Review*, Energies, 2020, 13(12).
70. Ustawa z 21 marca 1991 roku o obszarach morskich Rzeczypospolitej Polskiej i administracji morskiej, DzU, 1991, nr 32, poz. 131.
71. Ustawa z 27 marca 2003 roku o planowaniu i zagospodarowaniu przestrzennym, DzU, 2003, nr 80, poz. 717.
72. Ustawa z 3 października 2008 roku o udostępnianiu informacji o środowisku i jego ochronie, udziale społeczeństwa w ochronie środowiska oraz o ocenach oddziaływania na środowisko, DzU, 2008, nr 199, poz. 1227.
73. Ustawa z 20 lutego 2015 roku o odnawialnych źródłach energii, DzU, 2015, poz. 478.
74. Ustawa z 17 grudnia 2020 roku o promowaniu wytwarzania energii elektrycznej w morskich farmach wiatrowych, DzU, 2021, poz. 234.
75. Ustawa z 27 listopada 2024 roku o zmianie ustawy o promowaniu wytwarzania energii elektrycznej w morskich farmach wiatrowych, DzU, 2024, poz. 1828.
76. Velenturf A.P., *A Framework and Baseline for the Integration of a Sustainable Circular Economy in Offshore Wind*, Energies, 2021, 14(17).

77. Vetters J., Thomassen G., Van Passel S., *Sailing Through End-of-Life Challenges: A Comprehensive Review for Offshore Wind*, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2024, 199.
78. Wahlberg M., Westerberg H., *Hearing in Fish and Their Reactions to Sound from Offshore Wind Farms*, Marine Ecology Progress Series, 2005, 288(1).
79. Wei K., Yang Y., Zuo H., Zhong D., *A Review on Ice Detection Technology and Ice Elimination Technology for Wind Turbine*, Wind Energy, 2020, 23(3).
80. Yeter B., Garbatov Y., Soares G.C., *Spectral Fatigue Assessment of an Offshore Wind Turbine Structure under Wave and Wind Loading*, Developments in Maritime Transportation and Exploitation of Sea Resources, Taylor & Francis Group, Londyn 2014.
81. Ze J., Xiuchun Y., Ang C., Dong Y.A.N.G., Min Z.H.A.N.G., Lunda W., *Localized Ecoclimatic Impacts of Onshore Wind Farms: A Review*, Journal of Resources and Ecology, 2024, 15(1).
82. Zhao H., Wu Q., Hu S., Xu H., Rasmussen C.N., *Review of Energy Storage System for Wind Power Integration Support*, Applied Energy, 2015, 137.

Źródła internetowe

83. *Daily Record, Dozens of Giant Turbines at Scots Windfarms Powered by Diesel Generators*, <https://www.dailyrecord.co.uk/news/scottish-news/dozens-scottish-power-wind-turbines-29135763> (dostęp 22.01.2025).
84. *Filary Biznesu. Szwedzka armia: Farmy wiatrowe na morzu zagrażają bezpieczeństwu*, <https://filarybiznesu.pl/gospodarka/energetyka/szwedzka-armia-farmy-wiatrowe-na-morzu-zagrazaja-bezpieczenstwu/a25910> (dostęp 6.11.2024).
85. *Next. Ciemna flauta w Europie. Niemcy mają duży problem. Co z Polską?* <https://next.gazeta.pl/.next/7,172392,31487782,ciemna-flauta-w-europie-niemcy-maja-duzy-problem-co-z-polska.html> (dostęp 22.01.2025).



Magdalena Bogalecka – z wykształcenia chemik, doktor nauk ekonomicznych w zakresie towaroznawstwa, doktor habilitowany nauk inżynieryjno-technicznych w dyscyplinie naukowej *Inżynieria lądowa i transport*. Od 1995 roku związana z Uniwersytetem Morskim w Gdyni jako pracownik naukowo-dydaktyczny w Katedrze Jakości Produktów Przemysłowych i Chemii, którą kieruje od 2022 roku. Prowadzi zajęcia m.in. z chemii morza, ochrony środowiska morskiego, podstaw ratownictwa chemicznego, przeładunku towarów niebezpiecznych, oddziaływania morskich farm wiatrowych na środowisko. Członek Sekcji Komitetu Ochrony Środowiska Morskiego przy Polskim Rejestrze Statków, ośrodku ds. IMO, a także Polskiego

Towarzystwa Bezpieczeństwa i Niezawodności. Autorka ponad 130 artykułów poświęconych bezpieczeństwu transportu morskiego towarów niebezpiecznych oraz ratownictwu chemicznemu na morzu. Najważniejsze wyniki swoich badań przedstawiła w monografii naukowej *Consequences of Maritime Critical Infrastructure Accidents*, opublikowanej w 2020 roku przez wydawnictwo Elsevier. Wyróżniona medalem Komisji Edukacji Narodowej (2017), odznaką honorową „Zasłużony Pracownik Morza” (2014), srebrnym medalem za długoletnią służbę, nadanym przez Prezydenta RP (2019). Jest laureatką nagrody im. kapitana Konstantego Matyjewicza-Maciejewicza dla najlepszego nauczyciela akademickiego Uniwersytetu Morskiego w Gdyni (2024).

Rozdział 6

ILOŚCIOWA ANALIZA RYZYKA W PROJEKTACH MORSKIEJ ENERGETYKI WIATROWEJ

WSTĘP

Morska energetyka wiatrowa jest jednym z najszybciej rozwijających się sektorów odnawialnych źródeł energii na świecie. Oferuje ona znaczący potencjał w zakresie produkcji czystej energii, jednak wiąże się również z szeregiem wyzwań i ryzyk. W obliczu rosnących inwestycji w tym sektorze kluczowe znaczenie ma skuteczne zarządzanie ryzykiem, a w szczególności stosowanie ilościowych metod analizy ryzyka.

Celem niniejszego rozdziału monografii jest przedstawienie konceptu ilościowej analizy ryzyka projektu *offshore wind* z użyciem metody statystycznej Monte Carlo (MC). Metody ilościowe są uzupełnieniem metod jakościowych i opisowych, bazujących na macierzach ryzyk i są wykorzystywane w celu uzyskania odpowiedzi na pytania:

- jakich dodatkowych środków ponad budżet (ang. *contingency*) potrzeba, aby doprowadzić projekt do końca;
- jakich spodziewanych opóźnień w projekcie dla konkretnych kamieni milowych można oczekiwać w konsekwencji materializacji ryzyk;
- jakich strat prognozowanych przychodów można się spodziewać w konsekwencji np. ryzyka awarii elementów wyprowadzających moc w trakcie funkcjonowania farmy wiatrowej czy w konsekwencji zmian wskaźników ekonomicznych w czasie całego projektu.

W pracy przedstawiono założenia, na jakich bazują ilościowe analizy ryzyka, stosowane rozkłady prawdopodobieństwa i skutku materializacji ryzyka oraz rezultaty analiz wraz z ich interpretacją. Uzyskane wyniki stanowią wkład dla kolejnych modeli analitycznych w projekcie, dzięki którym można finalnie szacować

opłacalność danego przedsięwzięcia w ujęciu wskaźników makroekonomicznych, takich jak wewnętrzna stopa zwrotu projektu IRR czy wartość bieżąca netto NPV [14].

Ponadto przedstawiono koncepcje jakościowej analizy ryzyka z uwzględnieniem ryzyk niekwantyfikowalnych. Całość wieńczy podsumowanie wraz z zawartymi wnioskami.

1. RYS HISTORYCZNY

Ryzyko jako czynnik towarzyszący projektom od zawsze jest definiowane jako kombinacja prawdopodobieństwa wystąpienia zdarzenia i jego konsekwencji, które mogą mieć charakter pozytywny lub negatywny [1]. Problematyczne było jednak ujęcie tego zjawiska w ramy liczbowe, które można by oszacować i na podstawie uzyskanych wyników wyciągać wnioski.

Uznaje się, że pierwsze prace badawcze nad ilościową analizą ryzyka przypadają na czasy renesansu, kiedy to Blaise Pascal i Pierre de Fermet w korespondencji listowej w 1654 roku, rozważając tzw. Problem Punktów (ang. *Problem of Points*) przy okazji analiz gier hazardowych, stworzyli matematyczną teorię prawdopodobieństwa, będącą matematyczną podstawą koncepcji ryzyka.

Z biegiem lat kolejni uczeni: Abraham de Moivre (twórca konceptu rozkładu normalnego i odchylenia standardowego), Frank Knight (badacz wpływu ryzyka na ekonomię klasyczną), John von Neumann (twórca teorii gier) czy Stanisław Ulam (autor metody Monte Carlo) wgłębiali się w nową dziedzinę, tworząc teorie i metody, wnoszące niezwykle cenną kontrybucję w rozwój ilościowej analizy ryzyka [7].

Rosnąca wiedza i świadomość o rachunku prawdopodobieństwa i statystyce pozwoliły na rozwój dziedziny, jaką jest zarządzanie ryzykiem, będącej odpowiedzią na rosnące zagrożenia ekonomiczne, militarne, polityczne, jak również na szybki rozwój nauki i technologii. Znaczącym bodźcem do rozwoju ilościowych metod zarządzania ryzykiem był rozwój rynku ubezpieczeń i rynku bankowego. Z biegiem czasu powstawały nowe metody i koncepcje zarządzania ryzykiem, które znajdują zastosowanie po dzień dzisiejszy, m.in. w trakcie prowadzenia projektów [7].

2. ZARZĄDZANIE RYZYKIEM W PROJEKCIE

Projekty podejmowane są przez organizacje z różnych przyczyn, główne zaś wytyczne towarzyszące każdemu z nich obejmują: dostarczenie go na czas, w określonym budżecie, przy wymaganej jakości, aby spełniał on swoje zadania [2]. Jednym z powodów może być zmiana strategii firmy energetycznej i przestawienie swojego portfolio wytwórczego na „zielone” źródła mocy, aby zredukować średnią całkowitą emisyjność jednostek wytwórczych. Takie działania mają na celu przynieść takie korzyści jak tańsze kredyty czy niższe opłaty emisyjne, dzięki którym będą się one mogły dalej rozwijać, zwiększając swoje przychody i konkurencyjność na rynku.

Każdy podjęty projekt obarczony jest pewnym prawdopodobieństwem porażki. Jej przyczyn należy się doszukiwać w słabej organizacji przedsięwzięcia przez przedsiębiorstwa. Są to:

- powołanie niekompetentnego zespołu fachowców;
- niedostateczna alokacja zasobów ludzkich w nakładających się w czasie zadaniach;
- brak uprawnień decyzyjnych kierownika projektu oraz niedostępność komitetu sterującego;
- brak systemu raportowania zadań w projekcie oraz opóźnienia w dostarczaniu produktów;
- brak lub utrata motywacji członków zespołu projektowego [4].

Ponadto należy mieć na uwadze czynniki zewnętrzne, które są równie niebezpieczne dla powodzenia przedsięwzięcia jak: błędna weryfikacja warunków rynkowych, nieodpowiednie zarządzanie relacjami z interesariuszami projektu czy niekorzystne zmiany legislacyjne. Aby zminimalizować to prawdopodobieństwo oraz zwiększyć efektywność przedsięwzięcia, każdemu projektowi towarzyszyć powinno skuteczne zarządzanie ryzykiem projektowym.

Zarządzanie ryzykiem projektowym jest kolejnym elementem rozwoju klasycznego zarządzania projektem, aby uzyskać określone korzyści w trakcie jego prowadzenia, takie jak:

- identyfikacja szans i zagrożeń dla projektu, a następnie ich odpowiednie zarządzanie poprzez działania mitygujące i/lub plany awaryjne/plany ciągłości działania;
- zwiększenie szansy na dostarczenie końcowego produktu, jakim może być element infrastruktury energetycznej (w tym morska farma wiatrowa);

- pomoc w podejmowaniu trudnych, nieoczywistych decyzji projektowych;
- zapewnienie zgodności z przepisami prawnymi i regulacyjnymi;
- zachęcanie kierowników projektów i osób odpowiedzialnych za swój zakres do angażowania się we wszystkie aspekty projektu poprzez proaktywne zarządzanie ryzykiem;
- zwiększenie zaufania wśród interesariuszy wewnętrznych i zewnętrznych;
- identyfikacja kluczowych obszarów projektu, wymagających dodatkowej uwagi lub zasobów;
- identyfikacja interfejsów pomiędzy zakresami oraz odpowiednie ich zaadresowanie;
- poprawa kontroli, wydajności i komunikacji w projekcie;
- określenie niezbędnego finansowego i czasowego buforu bezpieczeństwa dla podejmowanych aktywności.

W proces zarządzania ryzykiem zaangażowani są wszyscy uczestnicy projektu, aby był on możliwie efektywny, każde zaś zidentyfikowane odpowiednio wcześniej zagrożenie przybliża projekt do jego realizacji, poprzez podjęcie adekwatnych akcji zaradczych. Każdemu ryzyku przypisany jest jego właściciel. Jego rola nie ogranicza się jedynie do zidentyfikowania i scharakteryzowania ryzyka. Jest on również zobligowany do przedłożenia odpowiedniej oceny ilościowej danego ryzyka pod względem prawdopodobieństwa wystąpienia i skutku materializacji, a także zbudowania odpowiedniego planu działania w odpowiedzi na ryzyko, aby optymalnie nim zarządzić.

Nad całym procesem zarządzania ryzykiem w projekcie morskiej farmy wiatrowej czuwa Risk Manager, odpowiedzialny za jego koordynację i włączanie w proces zarządzania ryzykami projektowymi osób do tego niezbędnych. Jego kluczową funkcją dla projektu jest stworzenie i administrowanie rejestru ryzyk, narzędzia dedykowanego do:

- rejestrowania ryzyka;
- definiowania i zrozumiałego dla odbiorcy charakteryzowania ryzyka;
- przyporządkowywania ryzyka do odpowiedniego zakresu projektu;
- szacowania poziomu ryzyka inherentnego (pierwotnego) ilościowo i jakościowo;
- opracowywania planu działania, mającego na celu optymalne zarządzanie zagrożeniem poprzez redukcję prawdopodobieństwa i/lub wpływu;
- szacowania poziomu ryzyka rezydualnego (końcowego) ilościowo i jakościowo.

Powyższy opis przedstawia cykl, który jest realizowany przy każdym kolejnym, zidentyfikowanym ryzyku projektowym (rys. 1).



Rys. 1. Cykl zarządzania ryzykiem projektowym

Źródło: opracowanie własne wykonane w programie MS Power Point.

Rysunek 1 prezentuje filozofię zarządzania ryzykiem jako procesu ciągłego, transparentnego i ulepszającego przedsięwzięcie, którego głównym celem, obok identyfikowania i charakteryzowania zagrożeń oraz ich szacowania ilościowego, jest wdrożenie odpowiedniego planu działania na ryzyko. Ma on na celu określić, jakie aktywności i środki są potrzebne, by dane ryzyko zredukować oraz kto będzie odpowiedzialny za ich wdrożenie w projekcie.

Istnieje kilka technik redukcji poziomu ryzyka:

1. Unikanie – pozbycie się ryzyka poprzez zmianę koncepcji lub usunięcie przyczyn. Jest to technika, która winna być rozpatrywana na początku

analizowania planu działania. Należy przy tym pamiętać, by koszty wdrożenia takiego rozwiązania nie przekroczyły wartości skutków samego ryzyka. Przykładem takiego działania może być zmiana biegu kabli podmorskich w celu uniknięcia dużej koncentracji głazowisk lub niewybuchów z czasów II wojny światowej.

2. Redukcja – zmniejszanie poziomu ryzyka poprzez wpływanie na poziom prawdopodobieństwa jego wystąpienia lub potencjalny oczekiwany skutek materializacji. Jest to najczęściej wykorzystywana technika zarządzania ryzykiem. Tutaj za przykład może posłużyć rozpoczęcie wcześniejszych negocjacji z preferowanym kontraktorem lub podjęcie działań zapobiegawczych wobec zewnętrznych interesariuszy np. środowiska rybackiego.
3. Transfer – przeniesienie całego ryzyka lub jego części na stronę trzecią (kontraktora, ubezpieczyciela), która zechce i jest w stanie wziąć odpowiedzialność za skuteczną mitygację i zaakceptuje konsekwencje w przypadku materializacji zdarzenia. Zazwyczaj transfer ryzyka wiąże się z poniesieniem pewnych kosztów (premia za ryzyko dla jego odbiorcy). Należy mieć jednak świadomość, że przy takim podejściu występują określone limity, na które strona się godzi, akceptując przejęcie potencjalnego zagrożenia. Najprostszym przykładem ryzyka, do którego adresuje się tego typu podejście, są fizyczne uszkodzenia aktywów farmy w trakcie procesu wytwórczego, transportowego, instalacyjnego, rozruchowego i operacyjnego.
4. Akceptacja – jest to technika bierna, w której inwestor godzi się na istnienie takiego ryzyka ze względu na niemożność jego zarządzania i ogranicza się jedynie do jego monitorowania. Taką postawę należy przyjąć głównie w stosunku do zagrożeń zewnętrznych, tj. zmiany legislacji lub dłuższego procedowania wniosków o pozwolenia: środowiskowe, lokalizacyjne, wodnoprawne [10].

Rejestr ryzyk wraz z budżetem i harmonogramem, które agregują w sobie założenia projektowe, tworzy „zespół naczyń połączonych”, gdzie zmiana w jednym środowisku determinuje modyfikacje w innych. Narzędzia te wraz z innymi założeniami techniczno-finansowymi pozwalają na zbudowanie modelu finansowego, który ma dać odpowiedź na pytanie o rentowność przedsięwzięcia inwestorom oraz instytucjom, które dany projekt mają kredytować. Z punktu widzenia planu zarządzania ryzykiem niezwykle ważne jest monitorowanie zmian następujących w projekcie, spowodowanych np. aktualizacją jednego lub wielu elementów koncepcji projektu. Modyfikacje te bardzo często wpływają na zmiany harmonogramu i/lub budżetu, a co za tym idzie, również na korygowanie rejestru ryzyk.

Relacja ta działa także w drugą stronę, tzn. aktualizacje w planie zarządzania ryzykiem (np. w konsekwencji zmiany poziomu tolerancji na ryzyko), wpływają na plan całego projektu. Wszystkie zmiany powinny odbywać się w pełnej świadomości każdego członka projektu, by dalsze planowanie mogło być zgodne z linią projektu.



Rys. 2. Schemat oddziaływań poszczególnych elementów projektu

Źródło: opracowanie własne wykonane w programie MS Power Point.

3. METODY STATYSTYCZNE

Ze względu na występujący element niepewności towarzyszący każdemu ryzyku, w modelach ilościowych analizy ryzyka zarówno dla prawdopodobieństwa, jak i wpływu stosuje się rozkłady statystyczne, które następnie są symulowane w generatorze stochastycznym.

Poniżej przedstawiono koncepcję metody i symulatora Monte Carlo oraz przykładowe rozkłady stosowane w szacowaniu końcowego efektu ryzyka na projekt *offshore wind*.

3.1. Metoda i symulator Monte Carlo

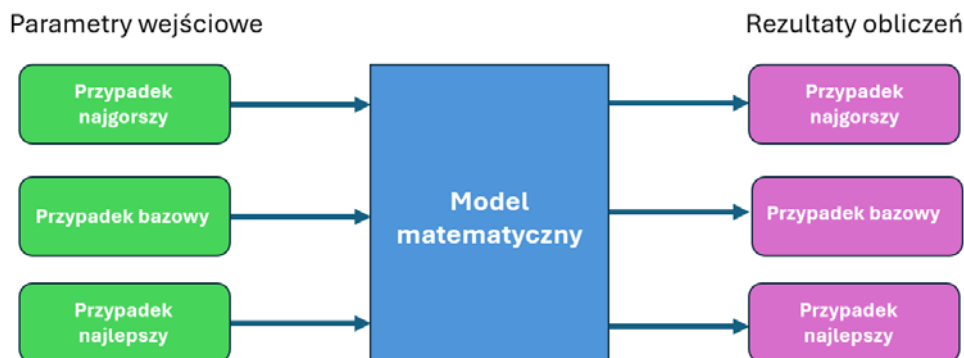
Metodyka obliczeń, nazwana z czasem metodą Monte Carlo, została zaproponowana w połowie lat 40. XX wieku przez Stanisława Ulama oraz Nicholas Metropolis. Pierwszym zastosowaniem metody MC był Projekt Manhattan, którego celem było stworzenie pierwszej bomby atomowej. Dzięki rozwojowi mocy obliczeniowej i dostępności komputerów metodę tę zaczęto stosować w wielu dziedzinach związanych z: nauką, inżynierią, fizyką, finansami, ubezpieczeniami, medycyną czy psychologią [9].

Metoda Monte Carlo stanowi rodzaj symulacji, który opiera się na iteracyjnym, losowym próbkowaniu i analizie statystycznej z określonej populacji wartości za pomocą deterministycznego modelu matematycznego w celu obliczenia i przeanalizowania wyników końcowych. Ta metoda symulacji jest ściśle związana z eksperymentami losowymi, których konkretny wynik nie jest znany. W tym kontekście symulację Monte Carlo można uznać za metodyczny sposób wykonywania analizy „co by było, gdyby”. Używany model jest zależny od liczby parametrów wejściowych, które po przekształceniu z użyciem zaimplementowanych w nim funkcji matematycznych dają wynik końcowy.

Ponadto należy zaznaczyć, że parametry wejściowe są zależne od różnych czynników zewnętrznych, przez co są narażone na zmiany wartości w pewnych przedziałach. Model matematyczny, który jest z natury deterministyczny, nie uwzględnia tych zmienności. By móc lepiej odwzorować tę niepewność, parametr wejściowy, który jest najbardziej prawdopodobny, jest traktowany jako przypadek bazowy. W celu zwiększenia skuteczności metody obliczeń model powinien uwzględniać potencjalną zmienność parametru wejściowego, dlatego w większości przypadków opracowywane są modele z kilkoma parametrami wejściowymi, np. w formule: przypadek bazowy, przypadek najlepszy i przypadek najgorszy dla zmiennych wejściowych [8].

W symulacjach Monte Carlo stosowane są rozkłady statystyczne, które reprezentują parametry wejściowe, sama zaś symulacja odbywa się za pomocą generatora liczb pseudolosowych RNG (*Random Number Generator*), którego rezultaty wyjściowe są niezależnymi zmiennymi losowymi o jednakowych rozkładach. Dla każdego przedłożonego zestawu parametrów wejściowych tworzy

się zestaw wartości wyjściowych. Wartość każdego z parametrów wyjściowych jest jednym konkretnym scenariuszem wyników z przebiegu symulacji. Do analizowania wyników niezbędne są rezultaty z wielu przebiegów symulacji (zwykle kilka tysięcy). Na koniec procesu dokonuje się analizy parametrów wyjściowych, by podjąć decyzję dotyczącą kierunków działania [3, 8].

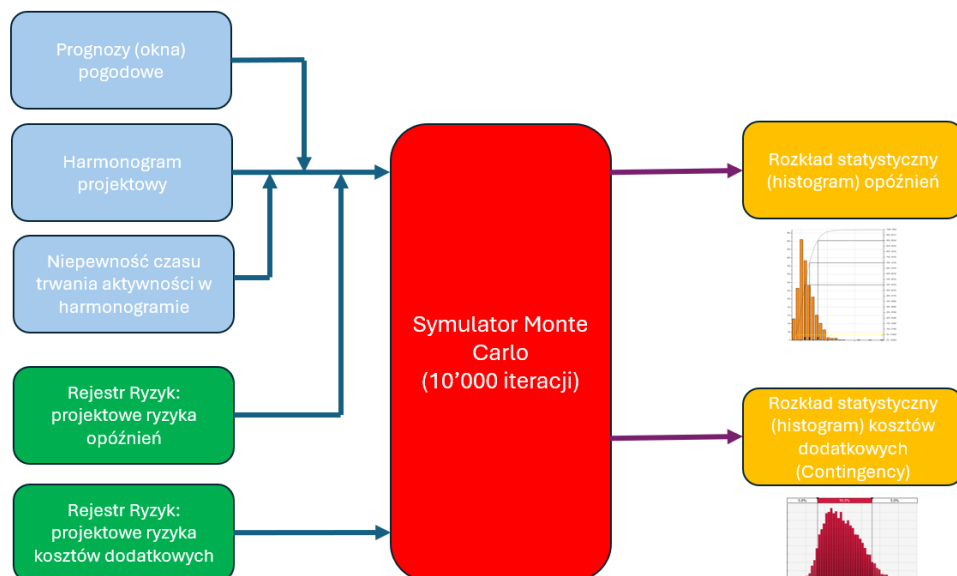


Rys. 3. Schemat działania deterministycznego modelu matematycznego

Źródło: [8].

W analizie ryzyka projektów *offshore* metoda MC polega na wielokrotnym, iteracyjnym symulowaniu wartości losowych z predefiniowanego zbioru (skutek) przez niepewność wystąpienia (prawdopodobieństwo). Kolejne wyniki symulacji danego zdarzenia zbiorczo tworzą ze sobą uporządkowany wykres (histogram), prezentując profil ryzyka. Następnie wszystkie wykresy są ze sobą agregowane, by zbudować względem skutków materializacji wykres oczekiwanych wystąpień hipotetycznych scenariuszy ryzyk projektowych [15].

Finalny histogram może być następnie interpretowany za pomocą wyliczonych wielkości statystycznych, jak średnia, dominanta, odchylenie standardowe, skośność, mediana (P50), P90, itp., aby określić, jakie będą spodziewane opóźnienia projektu oraz jaki dodatkowy bufor środków finansowych należy zapewnić projektowi z określonym prawdopodobieństwem.



Rys. 4. Schemat ilościowego modelu ryzyka

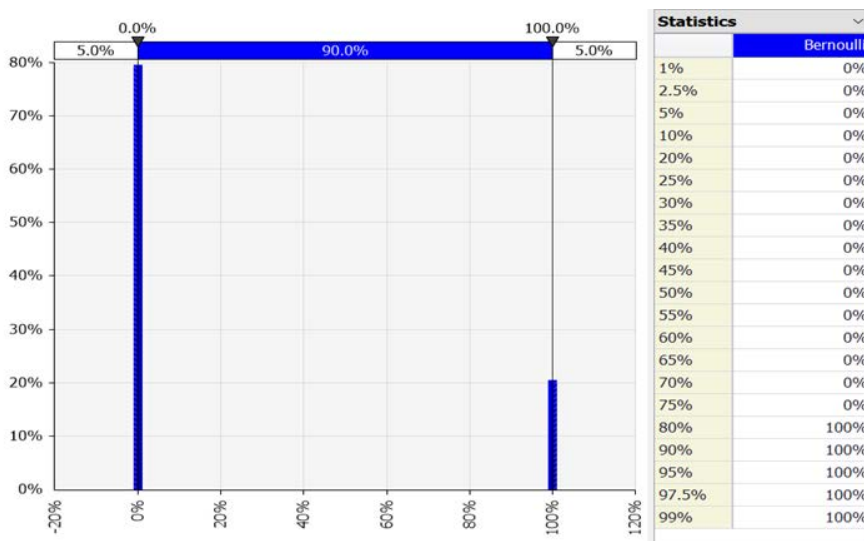
Źródło: opracowanie własne wykonane w programie MS Power Point.

3.2. Prawdopodobieństwo ryzyka w ujęciu ilościowym

W zależności od tego, jakie niepewne zdarzenie w projekcie *offshore* jest analizowane, można dobrać najlepiej pasujący do niego dyskretny rozkład prawdopodobieństwa. Najczęściej stosowany jest rozkład Bernoulliego, który jest rozkładem dwupunktowym (zero-jedynkowym) i ma dwa możliwe rozwiązania: 0 (porażka) i 1 (sukces), które się nawzajem wykluczają [5]. Innymi słowy, określa on, czy dane pojedyncze zdarzenie zaistnieje czy też nie.

Rozkład Bernoulliego stosowany jest dla ryzyk, w których analizuje się pojedynczy proces, mający wpływ na projekt. Przykłady takiego ryzyka w projekcie *offshore wind* stanowią: opóźnienie wydania decyzji środowiskowej, niedoszacowanie kosztów w kontrakcie czy wydłużenie kampanii geofizycznej dna morskiego.

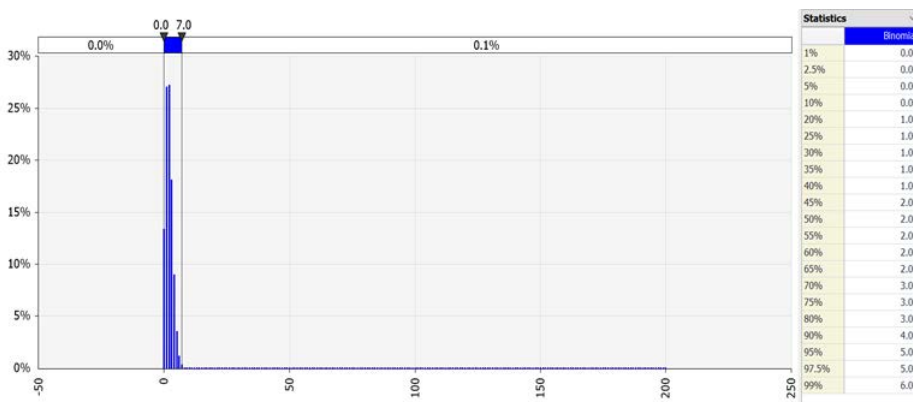
Na rysunku 5 zaprezentowano ryzyko o prawdopodobieństwie materializacji 20% za pomocą rozkładu Bernoulliego. Ze statystyki rozkładu widać, że dla 80% takich zdarzeń otrzymamy wynik 0 (uniknięcie ryzyka), dla 20% zaś wynik 1 (wystąpienie ryzyka).



Rys. 5. Przykładowy rozkład Bernoulliego dla zdarzenia z prawdopodobieństwem wystąpienia 20%

Źródło: opracowanie własne wykonane w programie @RISK 8.1 Lumivero.

Innym rozkładem, powszechnie stosowanym w określaniu prawdopodobieństwa materializacji ryzyka, jest dyskretny rozkład dwumianowy. Jest to rozkład określający szansę zaistnienia zdarzenia dla dwóch lub więcej takich samych elementów lub zjawisk [11]. Przykładem ryzyka, którego prawdopodobieństwo można zdefiniować przy użyciu rozkładu dwumianowego, jest wyboczenie/uszkodzenie mechaniczne monopala w trakcie wbijania w podłoże.



Rys. 6. Przykładowy rozkład dwumianowy dla zdarzenia (ryzyka) z prawdopodobieństwem wystąpienia 1% przy 200 próbach

Źródło: opracowanie własne wykonane w programie @RISK 8.1 Lumivero.

Po analizie wykresu na rysunku 6 statystyka rozkładu dwumianowego wskazuje, że:

- na 13% nie wystąpi badane zjawisko w żadnym elemencie zadanej próby;
- na 27% w jednym elemencie próby wystąpi badane zjawisko;
- na 27% w dwóch elementach próby wystąpi badane zjawisko;
- na 18% w trzech elementach próby wystąpi badane zjawisko;
- na 9% w czterech elementach próby wystąpi badane zjawisko;
- na 4% w pięciu elementach próby wystąpi badane zjawisko;
- na 1% w sześciu elementach próby wystąpi badane zjawisko;
- w pozostałych przypadkach (siedem lub więcej elementów) zagregowana szansa wystąpienia badanego zjawiska wynosi ok. 1%.

3.3. Skutek ryzyka w ujęciu ilościowym

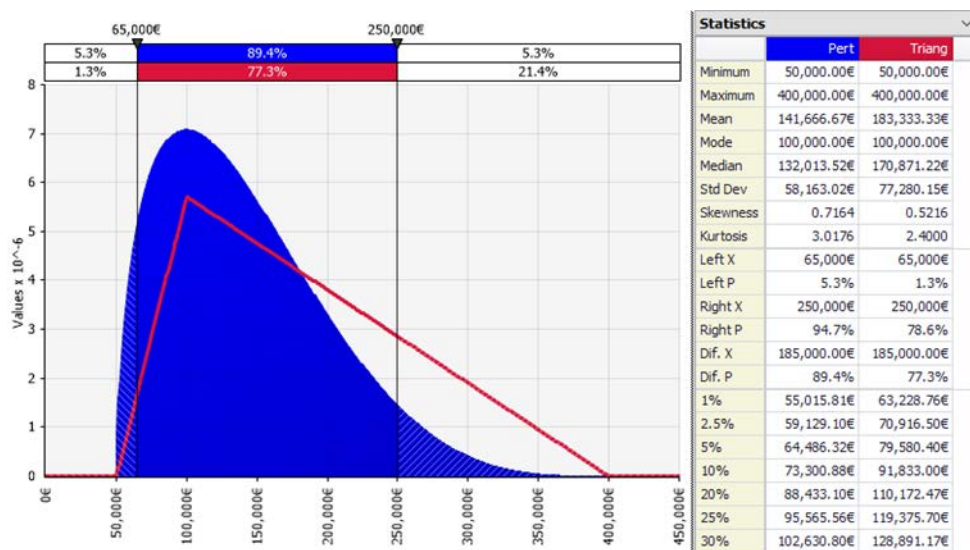
Obok prawdopodobieństwa za pomocą rozkładów statystycznych określa się także skutek danego ryzyka. Dla skutków jednak stosuje się zwykle rozkłady ciągłe, aby lepiej odwzorować rzeczywistość nas otaczającą [16]. Należy tu nadmienić, że w ujęciu ilościowym skutki w projektach analizuje się wyłącznie w ramach dodatkowych środków pieniężnych – buforu budżetowego lub utraconych prognozowanych przychodów, oraz dodatkowego czasu potrzebnego na realizację celu (oczekiwanych opóźnień). Pozostałe negatywne konsekwencje, takie jak wpływ na zdrowie i życie, reputację, środowisko, konsekwencje prawne czy naruszenie *compliance*, są szacowane jedynie jakościowo (szerzej o tym w podrozdziale 5).

Określanie potencjalnych skutków wystąpienia ryzyka poprzez rozkład statystyczny ciągły odwzorowuje prawdopodobieństwo wystąpienia danego scenariusza w tzw. funkcji gęstości prawdopodobieństwa, która dla każdego rodzaju rozkładu jest inna. Najczęściej stosowanymi rozkładami ciągłymi są: rozkład normalny, rozkład logarytmicznie normalny, rozkład wykładniczy, rozkład trójkątny i rozkład PERT [16]. Ze względu na ograniczony charakter rozdziału, w pracy zostaną zaprezentowane dwa ostatnie rozkłady, które są najczęściej wykorzystywane w rejestrach ryzyk projektów *offshore*.

Zarówno rozkład trójkątny, jak i rozkład PERT są dobrą aproksymacją rozkładu normalnego, który reprezentuje tendencje do występowania wielu zachodzących w świecie zjawisk. Są one definiowane w taki sam sposób, poprzez trzy wartości: maksymalną, minimalną i najbardziej spodziewaną wartość skutku wystąpienia ryzyka. Pomiędzy oboma rozkładami istnieje subtelna różnica, polegająca na koncentracji scenariuszy wokół punktu „najbardziej spodziewany”. Dla rozkładu

PERT gęstość prawdopodobieństwa jest wyższa wokół centralnego punktu, co oznacza, że jest on lepszym rozwiązaniem dla skutków ryzyk, w których można dość dokładnie oszacować konsekwencje. Przykładem skutków o takim rozkładzie jest np. uszkodzenie wieży lub gondoli turbiny w trakcie transportu i instalacji, gdzie znana jest wartość takiego elementu lub konieczność zakupu i zainstalowania komponentu, który był przewidziany w budżecie podstawowym projektu. Rozkład trójkątny zaś lepiej sprawdzi się dla przypadku, w którym można racjonalnie oszacować zakres skutków przez wartości minimum i maksimum. Przykładem ryzyka ze skutkiem rozkładu trójkątnego są aktywności, które zwykle rzutują na harmonogram projektu, tj. wydłużenie kampanii instalacyjnej statku czy opóźnienia procesu projektowego fundamentów bądź wydłużenie procesu wydania decyzji środowiskowej przez organy władzy samorządowej.

Powyższą cechę widać na rysunku 7, gdzie dla ryzyka o niesymetrycznym rozkładzie zauważalna jest większa koncentracja bliżej punktu centralnego przy rozkładzie PERT. Prawdopodobieństwo wystąpienia scenariusza powyżej 250,000 € dla rozkładu trójkątnego wynosi 21,4%, natomiast dla rozkładu PERT – jedynie 5,3%. Dodać należy, że każde ryzyko ma indywidualny profil i dla każdego należy dobierać najlepszy rozkład [16].



Rys. 7. Przykładowe rozkłady PERT i trójkątny dla ryzyka o zakresie skutku materializacji (50,000 €; 100,000 €; 250,000 €; 400,000 €)

Źródło: opracowanie własne wykonane w programie @RISK 8.1 Lumivero.

4. ILOŚCIOWA ANALIZA RYZYKA

Przed przystąpieniem do analizy ryzyka dla każdego projektu należy określić jego wykonalność techniczną w określonym czasie (harmonogram) i budżecie. Dla tak zdefiniowanego przedsięwzięcia można rozpocząć proces identyfikowania i mierzenia niepewności (ryzyk) od przyjętego planu. Dzięki analizie tych niepewności metodami ilościowymi można przewidzieć niezbędne bufory, potrzebne do dostarczenia finalnego produktu.

4.1. Analiza ryzyka dla budżetu – contingency

Poniżej zaprezentowano przykładowy, skrócony wycinek rejestru ryzyk (tab. 1), w którym zgromadzone są atrybuty potrzebne do przeprowadzenia ilościowej analizy ryzyka:

- **nazwa ryzyka** – skrócony opis zdarzenia;
- **opis ryzyka** – logiczny opis ciągu zdarzeń ryzyka, poczynając od przyczyny ryzyka, poprzez potencjalne zdarzenie prowadzące do skutków dotyczących projekt;
- **opis skutków** – możliwie dokładny opis następstw, jakie będzie ze sobą niosła materializacja danego ryzyka;
- **prawdopodobieństwo [%]** – ilościowa ocena prawdopodobieństwa wystąpienia zdarzenia, służąca do zbudowania rozkładu statystycznego. W przykładzie użyto rozkładu Bernoulliego dla wszystkich ryzyk;
- **skutek min. [PLN], skutek najbardziej spodziewany [PLN], skutek maks. [PLN]** – zakres możliwych skutków, które mogą się zmaterializować w konsekwencji wystąpienia zdarzenia. W przykładzie użyto rozkładu PERT dla wszystkich ryzyk;
- **prawdopodobieństwo jakościowo** – prawdopodobieństwo określone jakościowo na podstawie oceny ilościowej;
- **skutek jakościowo** – wpływ ryzyka na projekt określony jakościowo na podstawie oceny ilościowej;
- **ryzyko jakościowo** – rating ryzyka jako iloczyn jakościowej oceny prawdopodobieństwa i skutku;
- **rozkład prawdopodobieństwa** – atrybut przechowujący rozkład statystyczny prawdopodobieństwa. Wyświetlana wartość reprezentuje jeden z możliwych wyników symulacji;

Tabela 1

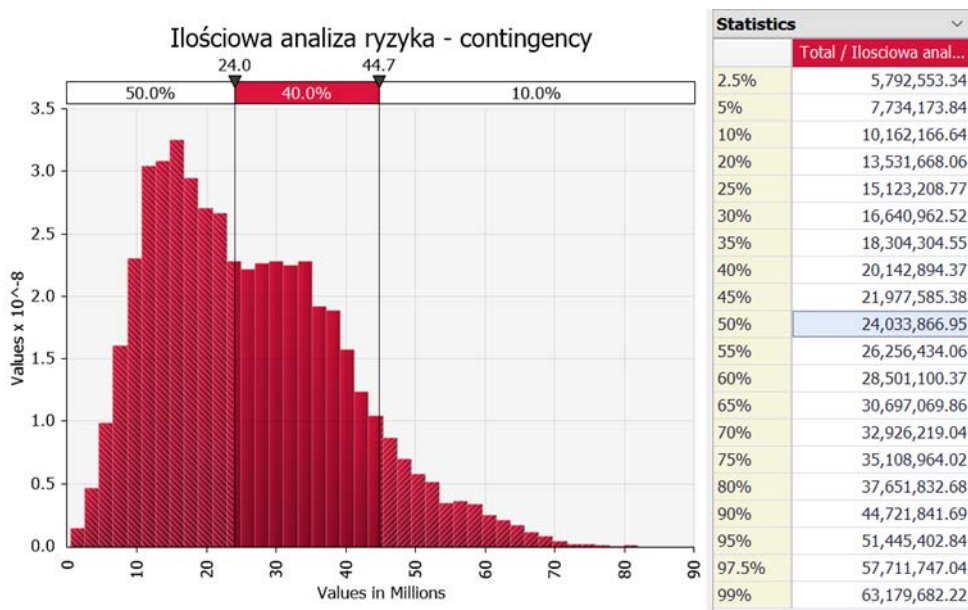
Wycinek rejestru ryzyka do analizy ilościowej i jakościowej

LP	Nazwa ryzyka	Opis ryzyka	Opis skutkow	Prawdopodo bięstwo [%]	Skutek min. [PLN]	Skutek najbardziej spodziewany [PLN]	Skutek max. [PLN]	Prawd. jakościowe	Skutek jakościowe	Ryzyko jakościowe	Rozkład Prawdop.	Rozkład Skutku	Ilościowa analiza statystyczna
1	Ryzyko 1	Opis Ryzyka 1	Skutek 1	90%	1,360,000	4,080,000	12,240,000	5	4	20	1	4,986,667	4,488,000
2	Ryzyko 2	Opis Ryzyka 2	Skutek 2	50%	0	5,404,000	10,808,000	4	4	16	1	5,404,000	2,702,000
3	Ryzyko 3	Opis Ryzyka 3	Skutek 3	45%	0	16,007,000	32,015,000	3	4	12	0	16,007,167	7,203,225
4	Ryzyko 4	Opis Ryzyka 4	Skutek 4	50%	0	4,948,200	9,896,400	4	3	12	1	4,948,200	2,474,100
5	Ryzyko 5	Opis Ryzyka 5	Skutek 5	25%	0	4,958,400	9,916,800	2	3	6	0	4,958,400	1,239,600
6	Ryzyko 6	Opis Ryzyka 6	Skutek 6	20%	10,244,000	20,488,000	30,732,000	2	4	8	0	20,488,000	4,097,600
7	Ryzyko 7	Opis Ryzyka 7	Skutek 7	50%	0	4,320,400	8,640,800	4	3	12	1	4,320,400	2,160,200
8	Ryzyko 8	Opis Ryzyka 8	Skutek 8	75%	10,000	10,000	10,000	5	1	5	1	10,000	7,500
9	Ryzyko 9	Opis Ryzyka 9	Skutek 9	15%	25,000	25,000	25,000	2	1	2	0	25,000	3,750
10	Ryzyko 10	Opis Ryzyka 10	Skutek 10	75%	300,000	300,000	300,000	5	1	5	1	300,000	225,000
11	Ryzyko 11	Opis Ryzyka 11	Skutek 11	40%	22,000	30,000	220,000	3	1	3	0	60,333	24,133
12	Ryzyko 12	Opis Ryzyka 12	Skutek 12	75%	100,000	120,000	150,000	5	1	5	1	121,667	91,250
13	Ryzyko 13	Opis Ryzyka 13	Skutek 13	35%	292,000	500,000	982,000	3	2	6	0	545,667	190,983
14	Ryzyko 14	Opis Ryzyka 14	Skutek 14	10%	450,000	450,000	450,000	1	1	1	0	450,000	45,000
15	Ryzyko 15	Opis Ryzyka 15	Skutek 15	40%	18,605	23,256	34,884	3	1	3	0	24,419	9,767
16	Ryzyko 16	Opis Ryzyka 16	Skutek 16	25%	30,000	35,000	40,000	2	1	2	0	35,000	8,750
17	Ryzyko 17	Opis Ryzyka 17	Skutek 17	55%	1,350,000	1,500,000	1,650,000	4	3	12	1	1,500,000	825,000
18	Ryzyko 18	Opis Ryzyka 18	Skutek 18	25%	0	120,000	360,000	2	1	2	0	140,000	35,000
19	Ryzyko 19	Opis Ryzyka 19	Skutek 19	20%	50,000	250,000	500,000	2	2	4	0	258,333	51,667
20	Ryzyko 20	Opis Ryzyka 20	Skutek 20	50%	230,947	346,420	346,420	4	1	4	1	327,175	163,587
Total													26046113.15

Źródło: opracowanie własne wykonane w programie MS Excel.

- **rozkład skutku** – atrybut przechowujący rozkład statystyczny skutku. Wyświetlana wartość reprezentuje jeden z możliwych wyników symulacji;
- **ilościowa analiza statystyczna** – atrybut przechowujący uzyskane histogramy z generatora stochastycznego. Wyświetlana wartość reprezentuje jeden z możliwych wyników symulacji. Zagregowany histogram wszystkich przeanalizowanych ryzyk znajduje się w ostatnim rekordzie „Total”.

W przykładzie zaprezentowano 20 wirtualnych ryzyk o skutku czysto finansowym. Następnie wszystkie ryzyka zostały wczytane do symulatora MC, by uzyskać końcowy wynik w postaci histogramu (rys. 8).



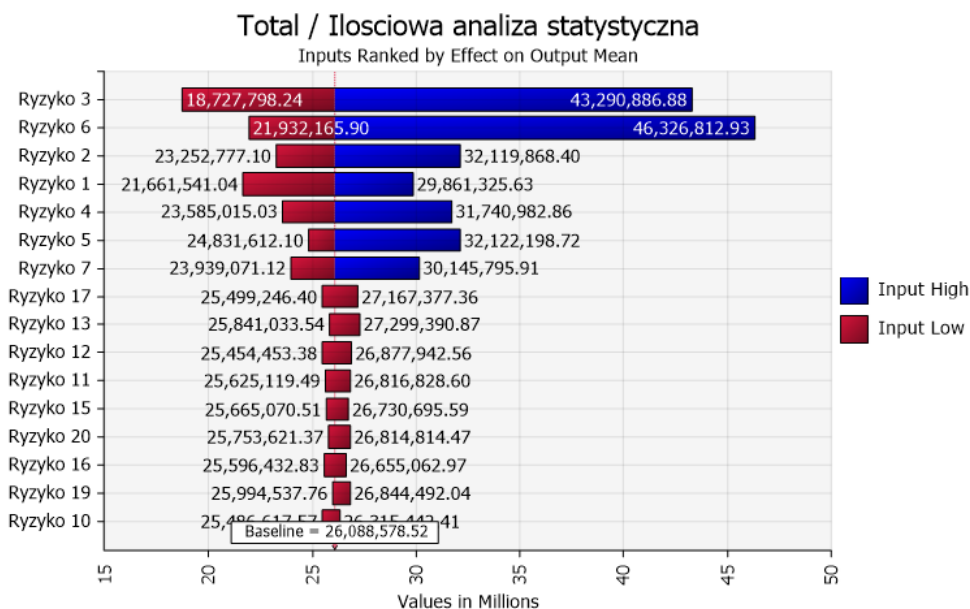
Rys. 8. Histogram reprezentujący rozkład wystąpień scenariuszy w konsekwencji materializacji zidentyfikowanych ryzyk

Źródło: opracowanie własne wykonane w programie @RISK 8.1 Lumivero.

Analizując wyniki symulacji na rysunku 8, można określić, z jakim prawdopodobieństwem jakie dodatkowe środki będą potrzebne, aby pokryć niepożądane efekty materializacji ryzyk. Dla wartości P50 (mediany), konieczne dodatkowe środki ulokowane w budżecie (ang. *contingency*) powinny wynieść ok. 24 mln złotych. Oznacza to, że 50% uzyskanych scenariuszy w symulatorze MC daje wynik 24 mln lub mniejszy. Inne wartości odnotowania statystyki to P90 (zazwyczaj najgorszy

rozpatrywany scenariusz), dominanta (który scenariusz w wyniku symulacji pojawia się najczęściej) czy odchylenie standardowe.

Obok wykresów prawdopodobieństwa symulator MC daje inne możliwości analizy wczytanych ryzyk, aby lepiej zagłębić się w naturę zidentyfikowanych zagrożeń. Najczęściej wykorzystywanym wykresem, obok histogramów, jest wykres tornado (ang. *Tornado Chart*), przedstawiony na rysunku 9, będący swoistą analizą wrażliwości, prezentującą wpływ poszczególnych czynników (ryzyk) na wynik końcowy (*contingency*). Z wykresu można wyczytać, jakie ryzyko miało największy wpływ na końcowy wynik symulacji. Świadczy o tym rozpiętość paska, przypisana do każdego ryzyka na poniższym rysunku. Wartości na początku i końcu paska określają, w jakim przedziale w trakcie symulacji zmieniał się rezultat końcowy przy zmianie tylko tej jednej, przypisanej zmiennej (ryzyka). Przykładowo w trakcie symulacji wartość końcowa wahała się od 18,73 mln do 43,29 mln w zależności od wartości obliczanych tylko dla ryzyka 3 w kolejnych iteracjach. Warto zaznaczyć, że ryzyko o najwyższym wpływie na wynik końcowy nie oznacza, że dane ryzyko ma najwyższą wartość. Jednak obie te cechy są silnie ze sobą skorelowane [6, 16].



Rys. 9. Wykres tornado wygenerowany z zadanej próby ryzyk

Źródło: opracowanie własne wykonane w programie @RISK 8.1 Lumivero.

4.2. Analiza ryzyka dla harmonogramu – oczekiwane opóźnienie projektu

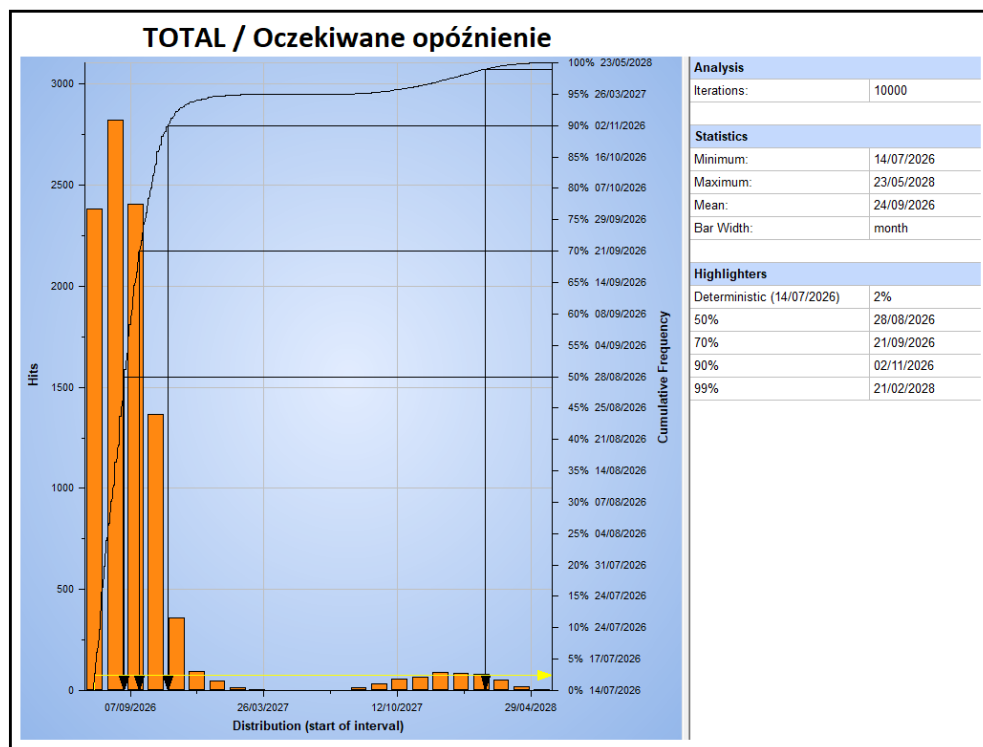
Obok analizy ryzyka budżetu, dla projektów w fazie przygotowawczej i konstrukcyjnej tworzy się również analizę ryzyk z wpływem na opóźnienie projektu. Jest ona nieco bardziej skomplikowana aniżeli analiza finansowa, gdyż bazuje na wcześniej zdefiniowanym harmonogramie projektu.

Analiza wpływu potencjalnych opóźnień na projekt morskiej farmy wiatrowej składa się z kilku kroków (rys. 4):

- i. Zbudowanie prawidłowego harmonogramu projektu, tj. narzędzia zawierającego logicznie ze sobą połączone komponenty programu z określonym punktem startu, zakończenia oraz czasem trwania wraz z przypisanymi niezbędnymi zasobami do realizacji;
- ii. Określenie niepewności czasu trwania danej aktywności za pomocą ciągłego rozkładu statystycznego;
- iii. Określenie i przypisanie do poszczególnych aktywności programowych ryzyk z oczekiwanym prawdopodobieństwem wystąpienia i skutkiem materializacji w formie adekwatnych rozkładów statystycznych;
- iv. Określenie ryzyk pogodowych (sztormy, mgły, mocny wiatr, silne opady śniegu, itd.) dla poszczególnych okresów kampanii przygotowawczych, transportowych, instalacyjnych i budowlanych [17].

Przygotowanie prawidłowej analizy ryzyka opóźnień harmonogramu pozwoli określić, jakich opóźnień z jakim prawdopodobieństwem należy się spodziewać dla analizowanych aktywności (np. kamieni milowych) oraz które ryzyka mają największy wpływ na oczekiwane końcowe opóźnienie programu. Podobnie jak dla analizy ryzyka budżetu, analizę ryzyka harmonogramu można wykonać w dedykowanym narzędziu z wbudowanym symulatorem Monte Carlo.

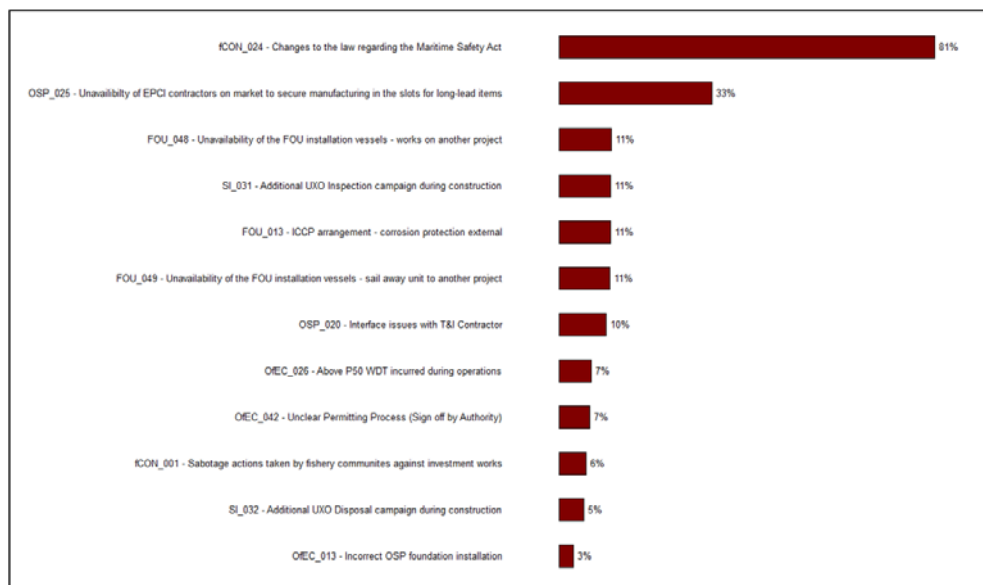
Rysunek 10 określa rozkład prawdopodobieństwa opóźnień analizowanego kamienia milowego projektu *offshore wind*. Statystyka wskazuje, że szansa na ukończenie zadania w wyznaczonym pierwotnie czasie przy zidentyfikowanych ryzykach wynosi zaledwie 2%. Ponadto widać, że spodziewane opóźnienie (P50) dla tego zadania wyniesie 45 dni (28/08/2026). Kolejne wskaźniki określają badane opóźnienie bardziej konserwatywnie. Dla najgorszego przypadku, a więc materializacji wszystkich zidentyfikowanych ryzyk w najgorszym scenariuszu zdefiniowanych rozkładów, to opóźnienie może nawet wynieść 679 dni (23/05/2028), co jednak jest niezwykle mało prawdopodobne.



Rys. 10. Przykładowy histogram oczekiwanych opóźnień kamienia milowego projektu *offshore wind*

Źródło: opracowanie własne wykonane w programie Oracle Primavera Risk Analysis 8.7.

Wynik symulatora MC może również określić, które ryzyko jest najbardziej krytyczne dla projektu, a tym samym wskazać, którym z nich należy skutecznie zarządzić w pierwszej kolejności. Ustala się to, przeprowadzając analizę wrażliwości czasu trwania ryzyka na harmonogram. Uzyskany rezultat w formie wykresu tornado prezentuje korelację za pomocą współczynnika korelacji liniowej Pearsona pomiędzy impaktem ryzyka a końcowym opóźnieniem projektu lub kluczowego zadania. Tak jak w przypadku ryzyk kosztowych, ryzyka skutkujące opóźnieniami o najwyższym możliwym efekcie niekoniecznie mają największy wpływ na końcowy wynik analizy. Kluczowe będzie tutaj oddziaływanie danego ryzyka na ścieżkę krytyczną projektu.



Rys. 11. Wykres tornado określający korelację pomiędzy skutkiem ryzyka a końcowym opóźnieniem analizowanego kamienia milowego

Źródło: opracowanie własne wykonane w programie Oracle Primavera Risk Analysis 8.7.

5. BUDOWA JAKOŚCIOWEJ ANALIZY RYZYKA NA PODSTAWIE DANYCH ILOŚCIOWYCH

Obok ilościowej ewaluacji sumarycznego poziomu ryzyka projektowego ważna jest również umiejętność zidentyfikowania największych ryzyk projektowych, dzięki czemu możliwa jest budowa hierarchii ryzyk i ich sekwencjonowanie dla ustalenia, którym ryzykiem należy się zająć w pierwszej kolejności. Kwantyfikacja ilościowa przy wykorzystaniu predefiniowanej projektowej macierzy ryzyka (tab. 2) pomaga w automatyzacji tego procesu.

Jak przedstawiono w podrozdziale 3, szacowanie ryzyka odbywa się za pomocą określenia procentowego prawdopodobieństwa wystąpienia zdarzenia oraz zakresu skutków, ze skutkiem najbardziej oczekiwanym (Minimum – Najbardziej Oczekiwana – Maksimum). Prawdopodobieństwo wystąpienia wyrażone w procentach można przyporządkować do odpowiedniego zakresu jakościowej skali ryzyka od 1 do 5 z tabeli 2.

Tabela 2

Przykładowa tabela ilościowej i jakościowej oceny ryzyka

Jakościowa skala ryzyka	Skutek									
	Prawdopodobieństwo		Opóźnienie [dni]		DEVEX [PLN]		CAPEX [PLN]		OPEX (rocznie) [PLN]	
	Min.	Maks.	Min.	Maks.	Min.	Maks.	Min.	Maks.	Min.	Maks.
5	80%	100%	180	∞	10,000,000	∞	50,000,000	∞	10,000,000	50,000,000
4	50%	80%	90	180	2,000,000	10,000,000	10,000,000	50,000,000	2,000,000	10,000,000
3	25%	50%	30	90	200,000	2,000,000	1,000,000	10,000,000	200,000	1,000,000
2	10%	25%	7	30	100,000	200,000	500,000	1,000,000	100,000	500,000
1	0%	10%	0	7	0	100,000	0	500,000	0	500,000

Źródło: opracowanie własne wykonane w programie MS Excel.

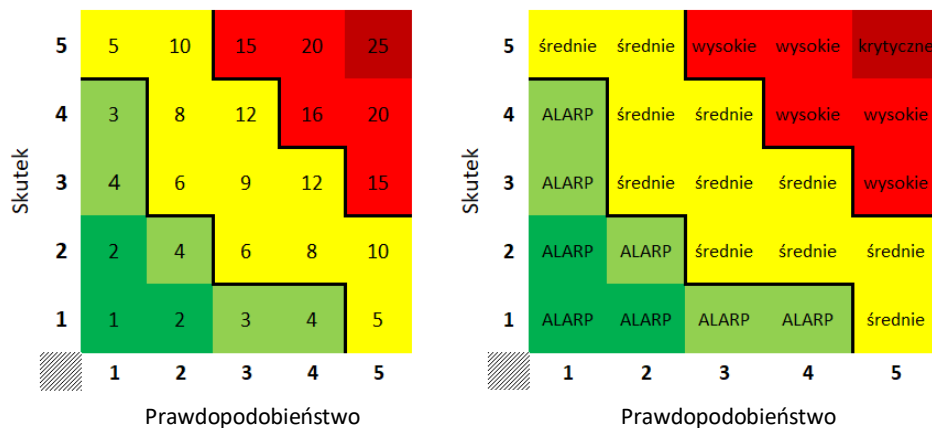
Dla przykładu ryzyko z prawdopodobieństwem materializacji 65% zostanie zakwalifikowane jako 4. Podobnie rzecz ma się ze skutkiem materializacji ryzyka. W tym wypadku brany jest pod uwagę możliwie maksymalny efekt wystąpienia ryzyka. I tak np. ryzyko o rozkładzie 0 – 700,000 – 2,100,000 zgodnie z przedstawioną wyżej metodologią dla fazy konstrukcyjnej, będzie zakwalifikowane jako 3 w skali jakościowej oddziaływania na projekt. Dla ryzyk skutkujących opóźnieniem metoda określania poziomu ryzyka jakościowego wygląda dokładnie tak samo.

Tak oszacowane jakościowo zagrożenia projektowe należy przenieść na matrycę ryzyka, która szacuje jego ranking, a następnie na jego podstawie określi konieczne kroki, które należy podjąć w odpowiedzi na ich poziom.

Na rysunku 12 określono trzy główne obszary matrycy ryzyka:

1. Obszar ALARP (*As Low As Reasonably Practicable*) – obszar, na którym nie ma konieczności podejmowania jakichkolwiek akcji mitygacyjnych ze względu na niski/pomijalny poziom danego ryzyka dla projektu.
2. Obszar ryzyka średniego – obszar, na którym leżące ryzyka wymagają planu działania w celu ich zredukowania, aby finalnie osiągnęły poziom „ALARP”.
3. Obszar ryzyka wysokiego/krytycznego – obszar z najwyższymi ryzykami projektowymi, których materializacja może doprowadzić do olbrzymich opóźnień i korespondujących z nimi bardzo wysokich kosztów budżetowych. Zaistnienie ryzyka krytycznego może prowadzić w najbardziej pesymistycznym scenariuszu do zaniechania projektu. Przykładem tego typu zagrożeń jest np. odpłynięcie jednostki instalacyjnej z farmy dewelopera na inny projekt z powodu przekroczenia końcowej daty kontraktu przed ukończeniem prac czy zmiany w projekcie fundamentów w trakcie ich fabrykacji. Dla tej kategorii ryzyka, obok standardowych środków redukcji jego poziomu, powinien zostać opracowany *Contingency Plan* („Plan B”), który może zostać wdrożony jako plan awaryjny, by zapobiec katastrofalnym dla projektu skutkom [13].

Pokazane na rysunku 12 linie podziału, określające postawę, jaką należy przyjąć w podejściu do danego ryzyka, są przedstawione czysto ilustracyjnie i mają charakter bardziej sugestywny aniżeli imperatywny. Jednakże są bardzo pomocne dla koordynacji zarządzania portfelem kilkuset ryzyk projektowych, które występują w trakcie prowadzenia projektu morskiej farmy wiatrowej.



Rys. 12. Przykładowe matryce ryzyka projektowego

Źródło: opracowanie własne wykonane w programie MS Excel.

Bezpośrednio z jakościową oceną ryzyka mamy do czynienia również w przypadku ryzyk, których skutków nie da się przełożyć na budżet bądź harmonogram. Do tego typu konsekwencji zalicza się:

- utratę zdrowia lub życia;
- uszczerbek na środowisku;
- utratę reputacji;
- skutki prawne lub utratę zgodności z wymaganiami (*Regulation & Compliance*).

W wypadku takich zagrożeń stosuje się bezpośrednio matryce jakościowe z przypisanymi skutkami i prawdopodobieństwem wystąpienia. Przykładowa matryca do szacowania poziomu ryzyk niekwantyfikowalnych została przedstawiona w tabeli 3.

Tabela 3

Przykładowa skala jakościowa prawdopodobieństwa i skutków dla ryzyk niekwantyfikowalnych

Jakościowa ocena ryzyka	Prawdopodobieństwo wystąpienia	Skutki zdrowie i życie	Skutki środowiskowe	Skutki reputacyjne	Skutki prawne (Regulation & Compliance)
5	Występuje często w branży MEW lub jest spodziewane w Projekcie	Wiele ofiar śmiertelnych	Katastrofalne skutki środowiskowe. Poważne skutki dla wielu elementów środowiska na dużym obszarze	Poważny i długotrwały negatywny PR w mediach międzynarodowych; zdarzenie może mieć wpływ na innych uczestników branży; potencjalny wpływ na licencje i wydane pozwolenia	Złamanie przepisów prawa, regulacji lub umów skutkujące znacznymi stratami materialnymi. Poważne spory sądowe lub znaczące sankcje organu regulacyjnego. Zamknięcie obiektu lub kary więzienia dla kadry kierowniczej
4	Występuje wiele razy w branży MEW	Śmierć jednego pracownika lub kilka ciężkich, trwałych, nieodwracalnych obrażeń ciała	Znaczące skutki środowiskowe. Negatywne skutki dla wielu elementów otaczających obszar. Wiele przekroczeń limitów wynikających z licencji lub wymagań prawnych	Znaczący wpływ krajowy i obawy publiczne — rozległa negatywna uwaga w mediach krajowych i/lub środowisku rządu centralnego. Efekt może rozprzestrzenić się na bliskich partnerów branżowych lub interesariuszy zewnętrznych	Naruszenie prawa, kontraktu lub regulacji skutkujące umiarkowanymi grzywnami / sporami sądowymi. Niezwłoczna konieczność zgłoszenia do organu regulacyjnego
3	Występuje niewiele razy w ciągu roku w branży MEW	Ciężkie obrażenia lub problemy zdrowotne wśród personelu (trwała częściowa niepełnosprawność)	Umiarkowane skutki środowiskowe. Odwracalne skutki incydentów przekraczające limity licencyjne lub prawne	Znaczący wpływ lokalny — negatywna opinia w mediach lokalnych / środowiskach działania samorządu lokalnego	Nieznaczne naruszenie prawa, umowy lub regulacji, skutkujące łagodną sankcją regulacyjną lub sankcją w zawieszeniu
2	Wystąpiło w branży MEW – pojedynczy przypadek	Nieznaczne obrażenia lub problemy zdrowotne wśród personelu (odwracalne skutki w ciągu tygodni/miesiąca)	Niewielkie skutki środowiskowe. Wpływ w ograniczonym otoczeniu	Skutek lokalny – negatywne opinie rozprzestrzeniane przez grupy aktywistów, media lokalne (w tym społecznościowe), NGO-sy	Problem prawny lub problem etyki biznesowej na niskim poziomie. Spór sądowy lub sankcja regulacyjna mało prawdopodobne
1	Słyszano w branży MEW	Niewielki uraz lub wpływ na zdrowie (skutek krótkotrwały)	Pomijalny skutek środowiskowy. Wpływ w obrębie Spółki	Niski wpływ – brak efektu publicznego	Nieznaczne naruszenie warunków umowy lub regulacji, bez realnego wpływu na biznes spółki

Źródło: [17].

6. PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Ilościowa analiza ryzyka jest już powszechnie stosowana nie tylko w instytucjach finansowych, ale także w przedsiębiorstwach inżynierskich. Zaprezentowane zastosowanie metody ilościowej ma na celu ukazać zarządzanie ryzykiem jako dziedzinę analityczną, opartą na wartościach liczbowych i metodach statystycznych, które w sposób możliwie dokładny mają odpowiedzieć na zadane pytania i wspomóc proces decyzyjny. Nie ulega wątpliwości, że dyscyplina ta będzie wciąż się rozwijać i ewaluować, wykorzystując przy tym coraz bardziej zaawansowane metody matematyczne jak uczenie maszynowe czy szerzej AI. Dzięki postępowi oraz coraz większej bazie historycznej wybudowanych projektów będzie można coraz dokładniej nie tylko przewidywać i zapobiegać ryzykom, ale również lepiej określać ich skutki w przypadku materializacji. Pomoże to zwiększyć optymalizację projektów i uzyskiwać wyższe wskaźniki ich rentowności.

BIBLIOGRAFIA

1. *A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK Guide)*, Project Management Institute (PMI), Newton Square, PA 1, USA, 2017.
2. Hopkin P., *Fundamentals of Risk Management: Understanding, Evaluating and Implementing Effective Risk Management*, The Institute of Risk Management, Sandton, RPA, 2018.
3. Kroese D.K., Taimre T., Botev Z. I., *Handbook of Monte Carlo Methods*, John Wiley & Sons, New Jersey, USA, 2011.
4. Piwowar-Sulej K., *Problemy społeczne jako czynnik ryzyka w organizacji „zarządzanej przez projekty”*, Prace Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu, 2011, nr 217, Wrocław.
5. Plucińska A., Pluciński E., *Probabilistyka*, WNT, Warszawa 2017.
6. Porter K., *A Beginner's Guide to Fragility, Vulnerability, and Risk*, University of Colorado, Boulder, USA, 2016.
7. Przetacznik S., *The Evolution of Risk Management*, Zeszyty Naukowe Małopolskiej Wyższej Szkoły Ekonomicznej w Tarnowie, Tarnów 2022.
8. Raychaudhuri S., *Introduction to Monte Carlo Simulation*, Oracle Crystal Ball Global Business Unit 390 Interlocken Crescent, Broomfield, USA, 2008.
9. Romaniuk M., *Metody Monte Carlo*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2019.

10. Sikorski Ł. (red.), *Morska energetyka wiatrowa: praktyczne wprowadzenie*, Helion, Gliwice 2023.
11. Westland J.Ch., *Audit Analytics: Data Science for the Accounting Profession*, Springer, Chicago, USA, 2020.

Źródła internetowe

12. <https://hsrm.umn.edu/health-safety-and-risk-management/hsrm-departments/enterprise-risk-management/resources-tools>.
13. <https://www.ibm.com/topics/contingency-plan>.
14. <https://www.investopedia.com/ask/answers/05/npv-irr.asp>.
15. <https://www.investopedia.com/terms/m/montecarlosimulation.asp>.
16. <https://www.udemy.com/course/choosing-an-appropriate-distribution/learn/lecture/20978316?start=255#overview>.
17. <https://www.udemy.com/course/primavera-risk-analysis-step-by-step/learn/lecture/15938560?start=0#overview>.



Jakub Zagrab – absolwent Wydziału Mechatroniki Politechniki Warszawskiej specjalności *Elektroniczne Systemy Pomiarowe*, Wydziału Mechanicznego Energetyki i Lotnictwa Politechniki Warszawskiej na kierunku *Energetyka* oraz Szkoły Głównej Handlowej w Warszawie na kierunku *Ekonomia*. Niemal całą swoją karierę związany z polską energetyką. Pracował w PKN Orlen, gdzie zajmował się budowaniem analiz techniczno-finansowych energetycznych jednostek wytwórczych oraz w Polskich Sieciach

Elektroenergetycznych, gdzie tworzył proces zarządzania ryzykiem organizacji czy uczestniczył w pracach nad metodyką do identyfikacji scenariuszy regionalnych kryzysów energetycznych w Europie przy grupie ENTSO-E. Zawodowo zarządzaniem ryzykiem zajmuje się od 2016 roku. Obecnie pełni rolę Risk Managera w projekcie morskiej farmy wiatrowej BC-Wind na Morzu Bałtyckim. Absolwent III edycji studiów podyplomowych *Zarządzanie ryzykiem w morskim przemyśle wydobywczym i energetyce wiatrowej* na Uniwersytecie Morskim w Gdyni.

Andrzej STAROSTA

Rozdział 7

MINIMALIZOWANIE RYZYKA WYSTĄPIENIA SKUTKÓW ZJAWISKA PRZEPADNIĘCIA (*PUNCH-THROUGH*) PODCZAS POSADAWIANIA PLATFORMY WIERTNICZEJ TYPU *JACK-UP*

WSTĘP

Rozdział ten zawiera podstawowe informacje, dotyczące etapów projektu, wykonywanego przez platformy wiertnicze typu *jack-up*. Rozpoczynając od krótkiej charakterystyki jednostek samopodnośnych, podstawowych definicji i informacji ogólnych dotyczących tego problemu, w głównej części omówiono zagrożenia, które mogą się pojawić podczas procesu instalacji (tzw. posadowienia) platformy na nowej lokalizacji. To właśnie podczas tego procesu dochodziło do największych awarii, które w najgorszych przypadkach skutkowały nawet zatonięciem jednostki. Problem omawiany jest z punktu widzenia członka załogi odpowiedzialnego za poprawne i bezpieczne przeprowadzenie operacji.

1. SAMOPODNOŚNE PLATFORMY WIERTNICZE TYPU *JACK-UP*

1.1. Charakterystyka jednostek typu *jack-up*

Samopodnośne platformy wiertnicze typu *jack-up* są jedną z najbardziej rozpowszechnionych konstrukcji w przemyśle eksploatacji węglowodorów na morzu. Obecnie na całym świecie operuje blisko 400 platform tego typu [12]. Wynika to z niskich kosztów eksploatacji, w porównaniu ze statkami wiertniczymi lub platformami półzanurzalnymi (*semi-sub*) z systemami dynamicznego pozycjonowania (DP). Jednostki DP w celu ustabilizowania swojej pozycji wykorzystują

siłę pędników, które powinny być stale zasilane, co powoduje znaczne zużycie paliwa. Dodatkową zaletą jednostek *jack-up* jest ich duża uniwersalność oraz możliwość dosyć łatwej modyfikacji przeznaczenia poprzez instalację na pokładzie np. urządzeń do eksploatacji złoża, systemów nurkowych, zdalnie kierowanych pojazdów podwodnych (ROV) bądź innych urządzeń potrzebnych do realizacji projektów. Za wady należy uznać niską prędkość holowania oraz ograniczenie głębokości operacyjnej do wartości około 150 m.

Platforma składa się z pontonu najczęściej o kształcie trójkąta o szerokości 70–100 m i podobnej długości ok 70–100 m. Na rufie platformy umieszczona jest wieża wiertnicza na specjalnej konstrukcji (tzw. *cantilever*), która pozwala na wysunięcie jej poza obrys pontonu nawet do 30 m. Starsze wersje platform, tzw. slotowe, posiadały specjalne wycięcie w części rufowej pontonu, w którego obrębie mogła pracować wiertnica. Ograniczało to jednak dostępne miejsce na pokładzie. Z tego powodu obecnie budowane i eksploatowane są głównie platformy typu *cantilever*.

Klasyczna platforma wiertnicza typu *jack-up* opiera się na trzech nogach. Zdarzają się konstrukcje z nogami cylindrycznymi, jednak ze względu na ich wagę mogą operować jedynie na najpłystszych akwenach. Większość platform ma nogi o konstrukcji kratownicowej. Ich długość zależy od zakładanej głębokości operacyjnej danej jednostki. Mówi się o platformach klasy 300, 350, 400. Jest to określenie zakładanej głębokości morza podanej w stopach. Dla przykładu jednostka klasy 350 ft (107 m) ma nogi o długości ok. 160 m, które wystarczają, aby pokonać: głębokość akwenu, penetrację, czyli odcinek, na jaki wbijają się nogi w grunt, *air-gap*, czyli odległość od poziomu morza do dna pontonu, wysokość pontonu oraz założony przez projektantów zapas, na jaki nogi powinny wystawać nad platformę. Aktualnie największe jednostki (GustoMSC CJ70 – np. *Noble Invincible*) mogą wiercić na akwenach o głębokości 150 m.

Najczęściej spotykanym rozwiązaniem konstrukcyjnym nogi jest kratownica na planie trójkąta, choć spotykane są również nogi czterokątne. Pionowe słupy kratownicy wyposażone są w listwy zębate tzw. *racks*, po których przemieszczają się koła zębate, tzw. *pinions*. Koła zębate połączone z pontonem platformy w *jackhouses* są obracane z wykorzystaniem wielostopniowych przekładni przez silniki elektryczne lub hydrauliczne. W ten sposób ponton platformy jest podnoszony ponad poziom wody w momencie, kiedy nogi oprą się o dno morskie. Na każdą listwę przypada 6–8 kół zębatach. Każda noga składająca się zazwyczaj z trzech listew zębatach jest więc przemieszczana dzięki pracy 18–24 silników. Prędkość jest zależna od projektu platformy i etapu podnoszenia, ale oscyluje wokół wartości 0,5 m na minutę.

Łatwo obliczyć, że opuszczenie nóg tak, aby dotknęły dna akwenu o głębokości 90 m, zajmuje 3 godziny.



Rys. 1. Jeden ze słupów nogi platformy: a) przekładnie, b) zbliżenie listwy zębatej (*rack*) i koła zębatego (*pinion*) – systemu podnoszenia platformy

Źródło: opracowanie własne.

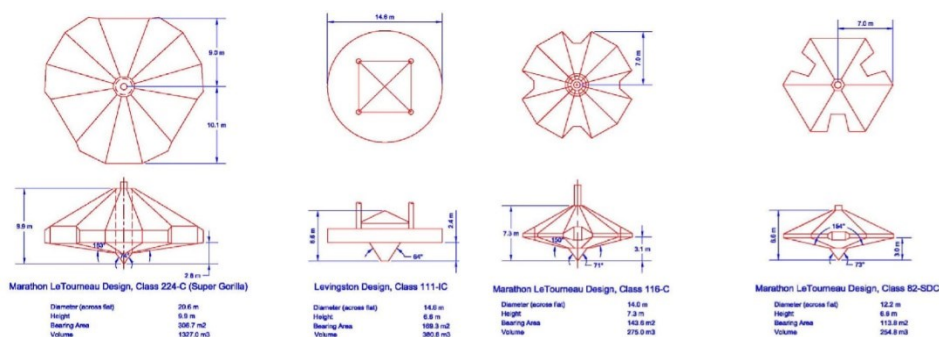
W celu rozłożenia ciężaru platformy na większej powierzchni spód nogi opiera się na specjalnej stopie. Dla mniejszych jednostek spotyka się podbudowę jako jeden duży element, nazywany matą. Jednak nogi większości platform posiadają niezależne stopy.

Są to bardzo mocne zbiorniki wypełniane podczas eksploatacji wodą – tzw. *spud-cans*. Ich kształt zmieniał się z czasem. Zaczynając od prostych walców, przez stożki do bardziej skomplikowanych kształtów, przedstawionych na rysunku 2. Ich wielkość i kształt zależne są od wielkości platformy oraz rodzaju gruntów, jakie są spodziewane w miejscu operowania danej platformy. To ten element ma największy wpływ na to, czy platforma uzyska wymaganą stabilność w gruncie w planowanym rejonie działań.

Pozostała część pokładu pontonu platformy zajęta jest przez nadbudówkę hotelową dla załogi i serwisów, mogącą pomieścić 100 i więcej osób, wzmocnione

pokłady rurowe do magazynowania rur okładzinowych, żurawie pokładowe niezbędne do prowadzenia przeładunków z jednostek pływających i obsługi wiertni.

Wnętrze pontonu zajmuje maszynownia, pompy płuczkowe, agregat cementacyjny, silosy cementu, silosy ładunków masowych oraz inne zbiorniki cieczy, takich jak paliwo, woda pitna, woda techniczna i inne. Większość pontonu platformy zajmują zbiorniki balastowe, które przez większość czasu są puste. Są one wykorzystywane w czasie instalacji platformy na lokalizacji. Poprzez wypełnienie ich wodą uzyskuje się dodatkowy ciężar, pozwalający ustabilizować platformę na pozycji pracy.



Rys. 2. Przykładowe typy stóp (*spud-cans*) platformy typu *jack-up*

Źródło: [5].

1.2. Etapy projektu realizowanego przez jednostki typu *jack-up*

1.2.1. Tranzyt

Jedną z podstawowych wad platform typu *jack-up* jest fakt, że zazwyczaj nie posiadają one własnego napędu. Ich przemieszczanie jest problematyczne, wymaga bowiem zaangażowania dodatkowych jednostek, które zastępują brakujący napęd.

Prędkość holowania nie przekracza kilku węzłów, więc czas operacji jest dosyć długi. Platforma, która podczas holowania ma całkowicie podniesione nogi, jest wrażliwa na warunki pogodowe. Oceaniczne holowania stanowią olbrzymie wyzwanie logistyczne, dotyczące szacowania ryzyka związanego z warunkami pogodowymi i dynamicznymi zmianami trasy lub prędkości holowania. Z tego powodu najczęściej takie transporty są realizowane w wersji suchej, kiedy platforma ładowana jest na statki typu *heavy lift* i przewożona jako ładunek.



Rys. 3. a) Holowanie platformy: a) „suche” – na statku *heavy lift*,
b) „mokre” – zestaw holowniczy

Źródło: *Project sheet, Transportation jack-up rig, Ensco 122, www.boskalis.com/download-center (dostęp 10.11.2024); Public rig photos, www.noblecorp.papirfly.com.*

Większość operacji holowania nie przekracza kilku dni, a odległości, które pokonuje platforma, nie są bardzo duże. Wykorzystując wtedy zazwyczaj trzy holowniki, jednostka jest przemieszczana w stanie wypornościowym na miejsce nowego projektu. Największym zagrożeniem jest nagłe pogorszenie się pogody. Z tego powodu jeszcze przed rozpoczęciem holowania określa się limity pogodowe i wymagane dla operacji ramy czasowe. Wykorzystując dostępne prognozy pogody, oczekuje się na powstanie tzw. okna pogodowego, czyli okresu prognozowanej pogody, która będzie spełniała zakładane limity. Należy pamiętać, że czas, który jest wymagany do przeprowadzenia operacji, powinien wystarczyć dla zrealizowania etapów wyrwania nóg z dna i opuszczenia starej lokalizacji, tranzytu na nowe miejsce oraz instalacji platformy na nowej lokalizacji.

Ryzyka występujące podczas fazy tranzytu wynikają z możliwości napotkania niesprzyjających warunków pogodowych. Można je minimalizować poprzez dokładne planowanie, obserwowanie prognozy pogody i opracowanie procedur awaryjnych na wypadek niespodziewanego załamania się pogody.

1.2.2. Instalacja na lokalizacji – posadowienie

Po dotarciu zestawu holowniczego w rejon wiercenia następuje finalne pozycjonowanie platformy na wyznaczonym punkcie. W przypadku całkowicie nowego odwiertu, kiedy nie jest wymagana bardzo duża precyzja, do utrzymania odpowiedniej pozycji wystarczają trzy holowniki zamocowane do platformy w zewnętrznych jej punktach w tzw. układzie gwiazdy. W przypadku dotarcia jednostki do istniejącej infrastruktury, np. w celu rekonstrukcji, wymagana jest większa precyzja. Uzyskuje się ją z wykorzystaniem zainstalowanych na platformie wind kotwicznych. Platforma opuszcza nogi na pozycję przejściową, znajdującą się ok. 80–100 m od finalnego punktu pracy z wykorzystaniem wspomnianych wcześniej holowników. Następnie statek AHTS (ang. *Anchor Handling Tug / Supply vessel*) podejmuje podwieszone na platformie kotwice i odwozi je na ustalone wcześniej pozycje oddalone o ok. 800–900 m. Po sprawdzeniu, czy wszystkie kotwice (najczęściej 4) są mocno osadzone w dnie, platforma ponownie podnosi nogi i przechodzi w stan pływalności. Poprzez luzowanie kotwic dziobowych i naciąganie lin kotwic rufowych jednostka bardzo powoli jest naciągana na pozycję pracy. Przy takiej operacji jest możliwość uzyskania bardzo dużej dokładności.

Po zatwierdzeniu końcowej pozycji platforma rozpoczyna wbijanie nóg w dno morskie. Ponton zaczyna wynurzać się z wody, zwiększając nacisk na poszczególne stopy. Podnoszenie pontonu zatrzymuje się kilka metrów nad poziomem wody. Od tego momentu rozpoczyna się operacja wstępnego obciążenia platformy, tzw. *pre-load*. Ma ona na celu zasymulowanie wystąpienia wszelkich możliwych sił, jakie mogą wystąpić w fazie operacyjnej, a wynikają z przyjęcia dodatkowych ciężarów, takich jak paliwo, płuczka wiertnicza, rury okładzinowe itp. oraz z mniej oczywistych sytuacji, jak np. silny sztorm, huragan lub trzęsienie ziemi. Proces ten jest realizowany przez wypełnienie zbiorników znajdujących się wewnątrz pontonu platformy wodą morską. Jej ilość jest zależna od wielkości jednostki i określonej w ekspertyzie żądanej wartości obciążenia stopy. Objętość wpompowanej wody może osiągać 10 000–12 000 m³.

W czasie operacji *pre-load* nogi platformy zagłębiają się w dno morskie, uzyskując coraz większą penetrację. W zależności od budowy geologicznej podłoża proces może przebiegać w różny sposób. Każda z nóg może i zazwyczaj zagłębia się z inną prędkością. Zadaniem osoby przeprowadzającej operację jest utrzymanie pontonu w poziomie. Jest to na tyle utrudnione, że w bardzo krótkim czasie na skutek napełniania zbiorników ciężar całego pontonu przekracza możliwości przekładni do jego podnoszenia. Jedynym sposobem wyrównania poziomu zostaje więc

opuszczenie pontonu. Przy dużej penetracji może dojść do sytuacji, kiedy ponton zanurzy się ponownie w wodzie i na skutek działania siły wyporu nie będzie możliwe uzyskanie wymaganego obciążenia stóp platformy. W takim przypadku należy nalany balast wodny rzucić, podnieść ponton nad poziom wody i rozpocząć dociążanie od początku.

Najgroźniejszym zjawiskiem, które może wystąpić podczas wspomnianej operacji, jest przepadnięcie (*punch-through*). Jest to gwałtowna penetracja, przy której operator nie ma możliwości utrzymania wypoziomowania pontonu platformy. Ryzyka z nim związane oraz sposoby ograniczania skutków jego wystąpienia omówiono w dalszej części rozdziału.

Po uzyskaniu zaplanowanych obciążeń stóp następuje faza obserwacji. Przez godzinę osoba nadzorująca operację *pre-load* obserwuje, czy nie postępuje penetracja nóg pomimo zaprzestania dodawania obciążenia. Po tym czasie uznaje się, że operacja obciążenia wstępnego została zakończona sukcesem i po zrzuceniu wody ze zbiorników balastowych można podnieść ponton na założoną wysokość pracy. W przypadku zauważenia zmiany poziomu należy ponton ponownie wypoziomować i rozpocząć kolejną godzinę obserwacji.

1.2.3. Faza operacyjna

Po szczęśliwym zakończeniu operacji posadowienia, podniesienia na finalną wysokość operacyjną oraz zablokowaniu systemów podnoszenia platformy można rozpocząć zasadniczy czas pracy platformy. Mogą to być prace wiertnicze, rekonstrukcyjne oraz inne projekty, związane np. z próbą eksploatacją danego odwiertu lub zapewnieniem zaplecza hotelowego dla innej jednostki umieszczonej obok. Ryzyka występujące w tej fazie są związane z charakterem prowadzonych prac.

1.2.4. Opuszczenie lokalizacji

Po zakończeniu wszystkich prac i zwiezieniu z platformy zbędnych ciężarów rozpoczyna się kolejna operacja tranzytu platformy – uwolnienie nóg platformy. W przypadku gruntów piaszczystych, na których nie uzyskano dużych penetracji, nogi podnoszą się zazwyczaj bez problemu i po krótkiej chwili można rozpocząć operację holowania.

Sytuacja może być bardziej skomplikowana, kiedy platforma została posadowiona na podłożach nieswoistych, takich jak glina, i stopy uzyskały duże penetracje,

zagłębiając się całkowicie w grunt. W takich przypadkach operacja uwalniania potrafi trwać kilkadziesiąt godzin, a dokładny czas operacji jest trudny do oszacowania. Silniki i przekładnie nie są w stanie samodzielnie wyciągnąć stóp z gruntu. Jedynym rozwiązaniem jest zwiększenie zanurzenie pontonu i oczekiwanie, aby siły wyporu jednostki w sposób statyczny wyciągnęły nogi z gruntu.

W celu przyspieszenia procesu stosuje się system *jetting*, służący do rozplukania zalegającego wokół stopy materiału. Rurociągi znajdujące się na całej wysokości nóg pozwalają na podłączenie rurociągów na pokładzie i dostarczenie wody pod ciśnieniem do dysz umieszczonych na obwodzie *spud-can*.

Zazwyczaj zainstalowane są dwa niezależne układy. Na górnej części stopy znajdują się dysze wysokociśnieniowe, mające za zadanie rozplukać i wypchnąć grunt, który może się znajdować powyżej w razie bardzo dużej penetracji. Do uzyskania przepływu wody wykorzystuje się w takich przypadkach pompy płuczkowe, mogące wytworzyć ciśnienie sięgające nawet kilkuset barów. W większości przypadków na Morzu Bałtyckim takie rozwiązanie nie jest jednak wykorzystywane.

Najczęściej stosuje się system płukania niskociśnieniowego. Woda tłoczona jest wtedy przez pompy gospodarcze do dysz znajdujących się w dolnej części stopy. Ma to na celu rozplukanie gruntu i zmniejszenie siły przysysającej stal, a w efekcie możliwość wyciągnięcia nogi.

Istotne dla całego procesu uwalniania jest równomierne wyciąganie wszystkich nóg platformy. Nie jest możliwe skuteczne kontrolowanie tego procesu jednocześnie dla wszystkich nóg. Z tego powodu operacja wykonywana jest pojedynczo, zaczynając zazwyczaj od stopy, która jest najmocniej zagłębiona.

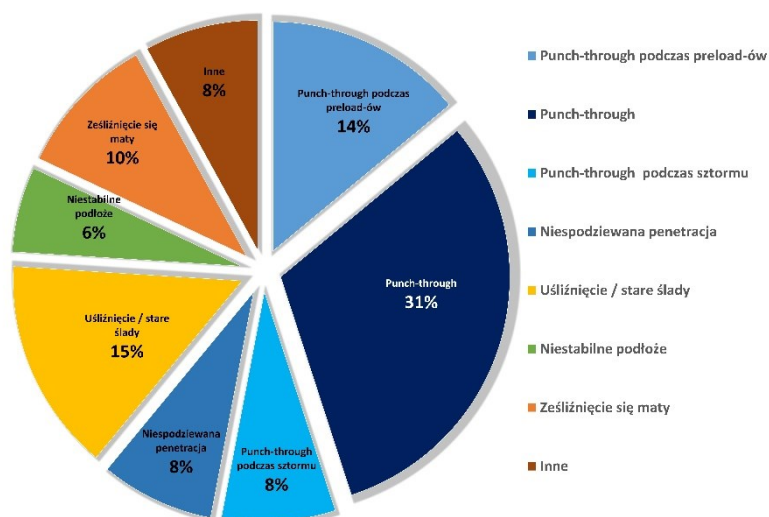
Operator nie może dopuścić do sytuacji, kiedy całkowicie zostanie uwolniona tylko jedna strona, ponieważ platforma uzyskuje w takim przypadku przechył, a wydostanie pozostałych nóg staje się praktycznie niewykonalne. Należy ponownie ustabilizować ponton poprzez wbicie już uwolnionej stopy i całą operację rozpocząć od początku.

Niestety, proces uwalniania platformy jest bardzo trudny do modelowania i ciężko przewidzieć ramy czasowe tego etapu. Z tego powodu największym ryzykiem jest brak odpowiednio długiego okna pogodowego i konieczność przerwania operacji.

1.3. Wypadki i awarie jednostek typu *jack-up*

Mogłoby się wydawać, że największym zagrożeniem dla bezpieczeństwa platformy jest operacja holowania. Historia zna nieudane holowania, kiedy złe warunki pogodowe przyczyniły się do niepowodzenia operacji. Jednakże w dzisiejszych czasach, przy komputerowych modelach prognozowania pogody, istnieje możliwość dokładnego przygotowania na zbliżające się warunki. Najdłuższe holowania oceaniczne realizowane są w systemie „dry towing” na pokładach statków typu *heavy lift*. Krótkie holowania, 1-2 dniowe, są uznawane za standardowe operacje.

Okazuje się, że największe awarie jednostek typu *jack-up* są związane z niestabilnością podłoża. Wśród powodów uszkodzeń konstrukcji nóg wymienia się: nierówność dna morskiego, obecność starych śladów po posadowieniu innych konstrukcji (tzw. *footprint*), osuwiska dna morskiego, wymywanie, aktywność wulkaniczną. Jednak ponad 50% wszystkich przypadków [1] jest określane mianem *punch-through* (przepadnięcie). Jest to zjawisko gwałtownej penetracji jednej lub więcej nóg, której operator jednostki nie jest w stanie skompensować nawet w sytuacji, kiedy ma możliwość regulowania położenia pontonu w czasie operacji posadowienia. Jeszcze groźniejsza jest sytuacja, kiedy do przepadnięcia dochodzi na skutek działania silnego sztormu, kiedy załoga platformy nie ma możliwości uruchomienia systemu podnoszenia.



Rys. 4. Przyczyny awarii platform typu *jack-up* wynikających z niestabilności podłoża

Źródło: opracowanie własne na podstawie [1].

Efektem nagłej penetracji mogą być pęknięcia spoin konstrukcji nogi, wygięcia poprzeczek. Takie uszkodzenia można jednak łatwo naprawić. Efekty mogą być jednak bardziej dramatyczne – tak jak w przypadku platformy Maersk Victory, która w 1996 roku u wybrzeży Australii uległa poważnej awarii.



Rys. 5. Maersk Victory – 1996, uszkodzone nogi w wyniku przepadnięcia

Źródło: www.lustedconsulting.ltd.uk/industry_foundation_problems.htm (dostęp 30.11.2024).

Skutki przepadnięcia mogą być jeszcze gorsze. 3 maja 2021 roku w pobliżu Malezji podczas operacji *pre-loads* doszło do awarii, w której wyniku zbudowana w 2015 roku platforma NAGA 7 zatонуła. Na szczęście, proces ten przebiegł na tyle statycznie, że udało się ewakuować całą załogę.

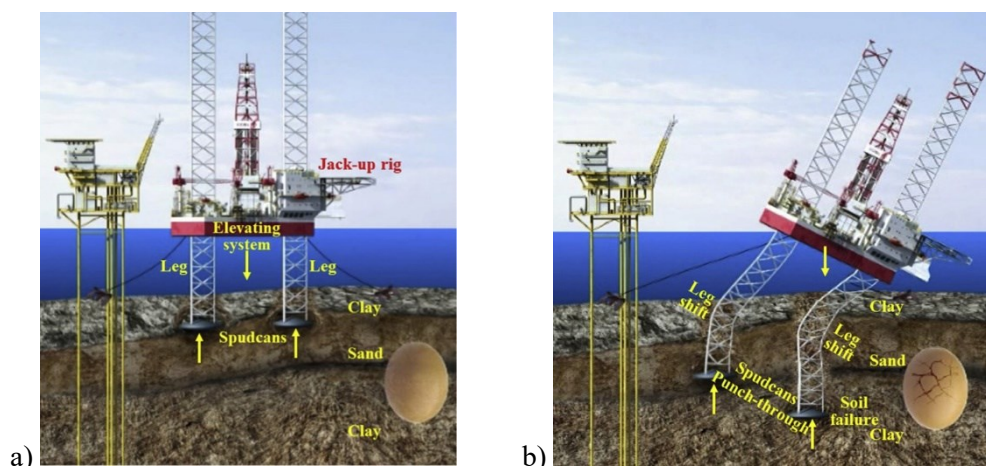


Rys. 6. Platforma NAGA 7 u wybrzeża Malezji. Ostatecznie zatонуła

Źródło: <https://riglynx.com/naga-7-punch-through-offshore-malaysia> (dostęp 30.11.2024).

2. ZJAWISKO PRZEPADNIĘCIA (*PUNCH-THROUGH*)

Zadaniem załogi platformy podczas instalacji jest utrzymanie jej w poziomie w stosunku do powierzchni wody, gdy nogi przemieszczają się prostopadłe do powierzchni pontonu. Nogi kratownicowe są skonstruowane tak, aby przenosić duże obciążenia pionowe, ale są dosyć wrażliwe na złamanie w przypadku przekrzywienia całego układu. Zjawisko *punch-through* jest groźne, ponieważ operator nie ma technicznej szansy skompensowania nagłego przyrostu penetracji, co w konsekwencji może prowadzić do sytuacji, przedstawionej na rysunku 7.



Rys. 7. Zjawisko *punch-through*: a) przed, b) po *punch-through* (uszkodzenie gruntu i przesunięcie nóg) – trzecia noga platformy niewidoczna w celu poprawy czytelności

Źródło: [6].

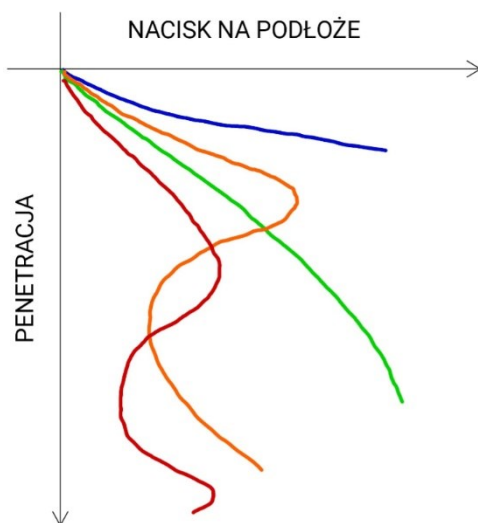
Po opuszczeniu nóg zaczynają się one zagłębiać w dno morskie do czasu osiągnięcia odpowiedniego podparcia przez grunt. Budowa dna morskiego jest różna i zależy od pochodzenia geologicznego obszaru. Najczęściej jest ono warstwowe i składa się z osadów dennych, warstw piasku, gliny, kamieni, żwiru itp. Każda z tych warstw charakteryzuje się inną wytrzymałością i w zależności od tego stopy platformy uzyskują inne zagłębienie, czyli penetrację.

Na rysunku 8 przedstawiono charakterystyczne kształty linii, pokazującej głębokość penetracji w zależności od przyłożonego na dno stopy nacisku.

Linia „niebieska” oznacza występowanie twardego podłoża, najczęściej piaskowego lub twardej gliny. Zagrożeniem tego typu podłoża jest brak możliwości uzyskania odpowiedniego zagłębienia się stopy nogi w gruncie. Przy aktualnie

projektowanych stopach (*spud-cans*), których kształt przypomina dno filiżanki, może to uniemożliwić podparcie ich na odpowiedniej powierzchni. Każda z konstrukcji ma określoną w instrukcji wartość minimalnej wymaganej penetracji.

Linia „zielona” pokazuje pokłady gliny, które są najbezpieczniejsze dla posadowienia platformy. Wraz ze wzrostem nacisku na dno stopy przyrost głębokości jest stały i proporcjonalny.



Rys. 8. Typowe charakterystyki penetracji w zależności od nacisku na podłoże

Źródło: opracowanie własne na podstawie [1].

Linie „pomarańczowa” i „czerwona” prezentują sytuacje, kiedy wystąpi zjawisko przepadnięcia. Linia „pomarańczowa” wskazuje istnienie twardej warstwy piasków, położonych nad grubą warstwą miękkiej gliny. Natomiast linia „czerwona” opisuje charakterystykę osadów, określanych jako „sandwich”. Po warstwie twardej następuje warstwa o mniejszej wytrzymałości, ułożona znów na warstwie twardej, mogącej utrzymać wcześniejsze obciążenie.

Zjawisko *punch-trough* może mieć miejsce w przypadku:

- występowania warstwy twardej nad miękkimi osadami;
- występowania warstwy piasku nad warstwą miękkiej gliny;
- formacji gliny, której siła trzymania zmniejsza się wraz z głębokością;
- pojawiania się w warstwie gliny soczewek piaskowych lub pułapek solnych;
- bardzo miękkiej gliny lub innych osadów, które nie zagęszczają się wraz ze wzrostem nacisku.

3. PLANOWANIE OPERACJI POSADOWIENIA

Prace w firmie planującej prace wiertnicze w danej lokalizacji rozpoczynają się dużo wcześniej niż planowany termin holowania jednostki. Od czasu wykonania badań sejsmicznych w celu odnalezienia interesujących inwestora struktur geologicznych i wyznaczenia potencjalnego miejsca odwiertu może upłynąć wiele lat. Po finalnej decyzji o rozpoczęciu prac i znalezieniu jednostki, która wykona zadanie, rozpoczyna się proces planowania posadowienia jej na wskazanym miejscu.

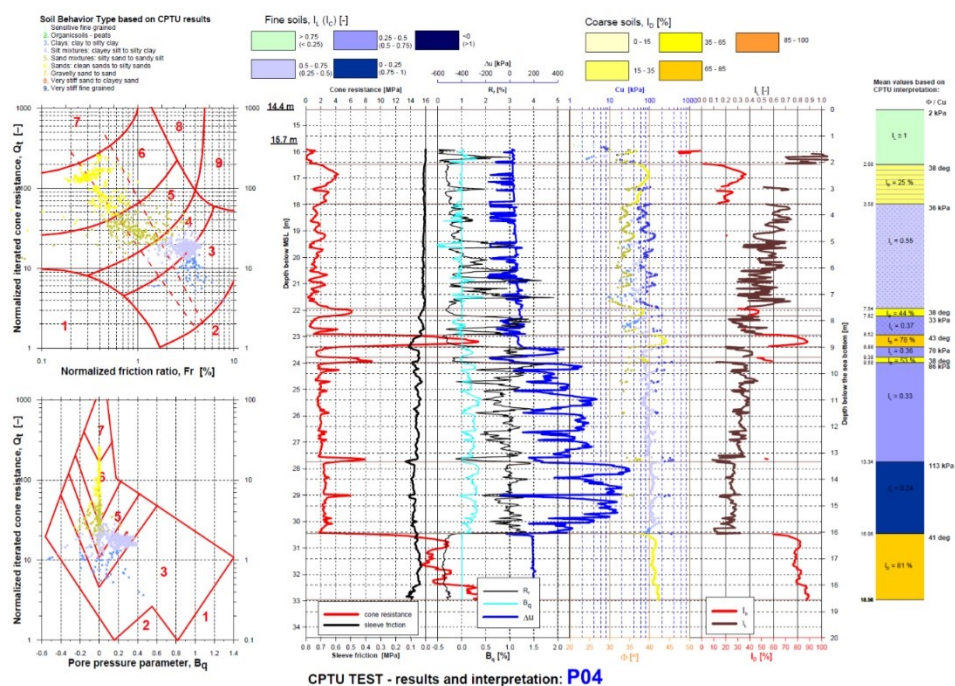
Prace rozpoczynają się od uzyskania dokładnej batymetrii na powierzchni o boku ok. 1000–1500 m przy założeniu, że interesująca nas lokalizacja znajduje się w środku takiego obszaru. Akwen powinien być przebadany również magnetometrem, aby upewnić się, że poniżej dna nie znajdują się niewidoczne elementy, takie jak wraki czy niewybuchy (UXO). Jest to szczególnie ważne na obszarze Morza Bałtyckiego, które w związku z działaniami podczas II wojny światowej obfituje w tego typu obiekty. Na tej podstawie określa się ostateczną pozycję odwiertu oraz kurs platformy. Bazując na danych operacyjnych wybranej platformy, wyrysowuje się na planie miejsca postawienia stóp.

Podstawą bezpieczeństwa w czasie posadowienia platformy jest bardzo dokładna znajomość profilu pionowego dna morskiego. W celu przeprowadzenia kolejnych analiz wymagane jest zrealizowanie serii badań geofizycznych i geotechnicznych danego obszaru. Wskazane jest wykonanie przynajmniej jednego głębokiego wiercenia rdzeniowego w celu uzyskania próbki podłoża na całym odcinku, w którym będzie zagłębiała się stopa platformy. Rekomendowana głębokość wynosi 30 m lub spodziewana penetracja powiększona o 1,5 do 2 średnic stopy, w zależności od tego, która wartość jest większa [1].

Miejsce takiego próbnego odwiertu powinno zawierać się w polu planowanego postawienia jednej ze stóp. Pobranie rdzenia jest techniką bardzo kosztowną. Dodatkowo z różnych względów wiertniczo geologicznych często nie udaje się uzyskać rdzenia, który pozwalałby na wykonanie badań wytrzymałościowych gruntu.

Pozostałą część badań wykonuje się tańszą metodą z wykorzystaniem sond CPT. Wykonane z ich pomocą próby również powinny być przeprowadzone w zarysie planowanego umieszczenia stóp. Najczęściej wykonuje się przynajmniej trzy próbki w obrębie jednej nogi. Po obrobieniu danych dokonuje się ich interpretacji, na podstawie których powstaje dokładny obraz poszczególnych warstw, z których składa się dno morskie w danym miejscu.

Przykład prezentacji wyników badania za pomocą sondy CTP przedstawiono na rysunku 9. Na podstawie zmierzonych parametrów, widocznych w środkowej części, opracowywany jest pionowy profil gruntu wraz z określeniem teoretycznych wytrzymałości poszczególnych warstw. Widoczny jest on z prawej strony rysunku, a kolory określają, czy są to gliny (kolory niebieskie) czy piaski (kolory żółte) o różnej gęstości.



Rys. 9. Wyniki pomiarów sondy CTP i ich interpretacja

Źródło: opracowanie własne.

Może się wydawać, że w odległości 100 m od siebie wszystkie wyniki powinny być identyczne. Jednakże zdarza się bardzo często, że na tak niewielkim obszarze struktura dna jest zupełnie inna i każda z nóg platformy będzie pokonywać opór różnych osadów. Z tego powodu finalna penetracja może być inna, a proces zagłębiania się będzie odmienny w czasie, powodując przechyłanie się kadłuba w czasie operacji *pre-load*.

Przykład takiej sytuacji prezentuje rysunek 10.

for Site Specific Assessment of Mobile Jack-Up Units - Gulf of Mexico Annex (2013) [3].

W opracowaniu SSA rozważa się i uwzględnia w końcowych rekomendacjach następujące kwestie:

- dane konstrukcyjne platformy, kształt i konstrukcja stóp platformy (*spud-cans*), instrukcja dotycząca sposobu przeprowadzenia operacji *pre-load*;
- dane miejsca posadowienia, takie jak batymetria, występujące zagrożenia wynikające z istniejących instalacji nawodnych i podwodnych, starych śladów po wcześniejszych operacjach (*footprints*) itp.;
- warunki meteorologiczne w odniesieniu do występujących ekstremalnych zdarzeń, takich jak fala 100-letnia, trzęsienia ziemi, fale tsunami, huragany itp.;
- warunki glebowe i możliwość wystąpienia niepożądanych zjawisk, takich jak przepadnięcie (*punch-through*), wypłukiwanie podłoża itp.

W wyniku szerokiej analizy, wykonywanej przez doświadczonych inżynierów, załoga platformy otrzymuje dokument z bardzo istotnymi informacjami. Podstawową i najważniejszą informacją jest teoretyczne wyliczenie wartości penetracji, jakie uzyskają poszczególne nogi. Bardzo często ta informacja jest powiązana z wykresem prezentującym, w jaki sposób będzie przebiegało zagłębianie się nóg platformy wraz ze wzrostem obciążenia.

Przykład takiego opracowania pokazano na rysunku 10.

Zaprezentowana sytuacja przewiduje możliwość wystąpienia przepadnięcia dla wszystkich trzech nóg platformy. Na wykresach zielonym i czerwonym są wyraźnie widoczne charakterystyczne kształty, wskazujące na istnienie twardych warstw nad miękkimi osadami. Jest to bardzo dobrze widoczne w prawej części rysunku, przedstawiającej pionowy przekrój gruntu wraz z prognozowanym umiejscowieniem w nim stopy. Ze względu na konieczność zaprezentowania wyników na ograniczonej przestrzeni, kształt stopy jest zniekształcony i wydaje się, że jest on wyższy niż szerszy, co nie jest prawdą. W przypadku nogi dziobowej, reprezentowanej przez wykres zielony, prognozowane przepadnięcie będzie wynosiło 3,04 m (21,88 m–18,84 m). W tym przypadku zagrożenia związane z wystąpieniem tego zjawiska nie są bardzo duże, ponieważ przebicie warstwy nastąpi w momencie, kiedy część pontonu platformy będzie znajdowała się jeszcze w wodzie (moment wyjścia pontonu nad powierzchnię wody jest zaznaczony jasnoniebieską pionową linią, opisaną „*Stillwater reaction*”). Z tego powodu gwałtowność procesu penetrowania będzie spowalniana przez siłę wyporu na skutek ponownego zwiększania zanurzenia pontonu. Jednocześnie można jeszcze używać silników elektrycznych

w celu podnoszenia pontonu, gdyż nie rozpoczęto fazy obciążania wstępnego (*pre-load*).

Najgroźniejsza sytuacja dotyczy prawej nogi, prezentowanej na rysunku kolorem czerwonym. Przebicie nastąpi w połowie procesu *pre-load*, kiedy zbiorniki balastowe będą już wypełnione w takim stopniu, że nie będzie możliwości unoszenia pontonu za pomocą silników elektrycznych. Dodatkowo prognozowane przepadnięcie jest dosyć duże i wynosi 4,49 m, co oznacza, że spód stopy z początkowej penetracji 4,00 m (18,4 m–14,4 m) zatrzyma się na 8,49 m poniżej linii dna morskiego.

Noga lewa (kolor niebieski) będzie zagrożona jako ostatnia, w końcowym etapie procesu obciążania wstępnego. Dodatkowo na wykresie, przedstawiającym prognozowany postęp penetracji, nie widać charakterystycznego załamania, więc operator może się spodziewać raczej szybszego niż zazwyczaj zagłębiania się nogi. Zagrożenie wynikające z tego faktu dla konstrukcji będzie jednak można niwelować poprzez opuszczanie pontonu i utrzymywanie go w poziomie.

Drugą istotną informacją jest wyliczone wymagane obciążenie na dno stopy platformy. Specjaliści mogą zalecić większe, niż wynikałoby to z podstawowych wyliczeń, obciążenie wstępne.

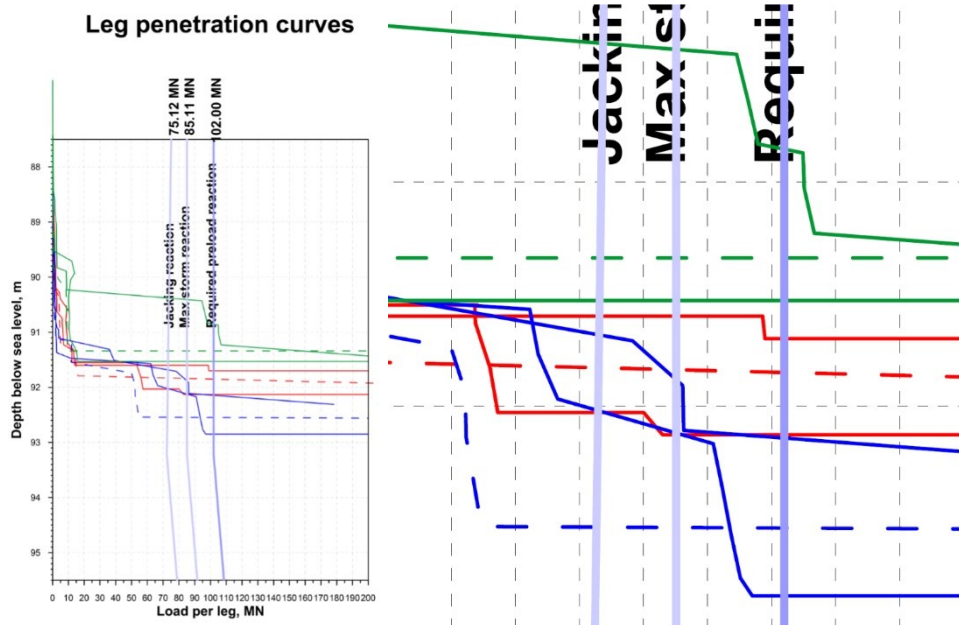
Sytuacja taka prezentowana jest na rysunku 11. Podstawowe obliczenia wskazały, że obciążenie nogi na poziomie 85,11 MN będzie wystarczające, aby platforma wytrzymała obciążenia, wynikające z sił działających podczas silnego sztormu. Jednakże po takim obciążeniu wstępnym noga, prezentowana na wykresie kolorem niebieskim, znalazłaby się blisko wartości prognozowanego przebicia kolejnej warstwy gruntu. Podczas fazy operacyjnej mogłoby dojść do niekontrolowanej penetracji. Z tego powodu eksperci w analizie SSA zalecili wykonanie operacji *pre-load* do wartości 102,0 MN (co stanowiło maksymalną wielkość w instrukcji tej konkretnej jednostki). W wyniku takiego obciążenia noga „niebieska” będzie stabilnie posadowiona, na co wskazuje pozioma linia na wykresie.

Opracowanie SSA może zawierać również:

- propozycję zmiany lokalizacji, ze względu na istniejące zagrożenia;
- możliwość wykonania mniejszych, niż wynikałoby to z instrukcji, operacji *pre-load*;
- procedurę awaryjnego odłączenia w rejonach, gdzie mogą występować graniczne zjawiska pogodowe, takie jak np. huragany;

- zalecenia poprawy podłoża poprzez uklepywanie stopami (tzw. *stomping*) lub wypełnienie podłoża np. kamieniami, co może się zdarzyć w przypadku występowania śladów po poprzednich operacjach innych platform;
- propozycję modyfikacji stóp platformy, np. w tzw. spódniczki (*skirts*), które zabezpieczają stopę przed wymywaniem gruntu przez prądy denne [7].

Analiza *Site Specific Assessment* jest bardzo istotnym dokumentem zarówno dla ubezpieczyciela, jak i dla załogi platformy, która będzie realizowała dane zadanie.



Rys. 11. Krzywe penetracji wskazujące potrzebę wykonania większej operacji *pre-load*

Źródło: opracowanie własne.

Ostatnim etapem jest etap operacyjny, wykonywany na burcie przez osobę odpowiedzialną za przeprowadzenie operacji obciążenia wstępnego. Na jednostkach typu wiertniczych jest to zazwyczaj *Barge Master* lub *Marine Section Leader* – osoba z wykształceniem i dyplomem morskim odpowiedzialna za sprawy zespołu pokładowego. Przygotowuje ona plan wykonania operacji *pre-load*. Instrukcja danej jednostki zazwyczaj zawiera zalecenia co do sposobu wykonania tej operacji. Może być ona przeprowadzana jednocześnie na wszystkie nogi, ale spotyka się również zalecenia wykonywania obciążenia noga po nodze. Każdy z wariantów ma zarówno swoje zalety, jak i wady. Obciążenie symultaniczne ogranicza czas trwania całej

operacji. Natomiast wykonanie operacji na pojedynczej nodze pozwala na łatwiejsze kontrolowanie operacji oraz uzyskanie większego jej dociążenia.

Plan operacji *pre-load* powinien zawierać końcowe ilości przyjętego balastu w poszczególnych zbiornikach. Oficer powinien przeprowadzić obliczeniową symulację operacji i zanotować spodziewane w danym momencie penetracje poszczególnych nóg. Jest to istotne przede wszystkim podczas operowania na wodach pływowych, aby podczas całej operacji utrzymywać minimalną odległość od lustra wody. Ważnym elementem analizy powinno być określenie momentu, w którym ciężar platformy i przyjętego balastu przekroczy możliwość osprzętu, służącego do podnoszenia pontonu. Po tym czasie będzie możliwe jedynie opuszczanie pontonu w celu utrzymania wypoziomowania jednostki.

4. SPOSOBY OGRANICZENIA SKUTKÓW WYSTĄPIENIA ZJAWISKA *PUNCH-THROUGH*

Jak można wywnioskować z wcześniejszych rozważań, najważniejszym sposobem ograniczenia ryzyka przepadnięcia jest odpowiednie planowanie. Aby je przeprowadzić, niezbędne jest wykonanie kosztownych badań geotechnicznych i geofizycznych oraz skomplikowanych obliczeń i analiz. Pomimo wielu lat doświadczeń i badań naukowych ciągle zdarzają się wypadki, takie jak katastrofa platformy NAGA 7. W publikacjach naukowych można znaleźć wiele propozycji sposobu prowadzenia obliczeń, testów modelowych oraz modeli matematycznych, dotyczących tego zagadnienia. Jednak bardzo rzadko operacje zgadzają się z przesłanymi ekspertyzami.

Jedynym sposobem uniknięcia poważnych uszkodzeń jednostki w momencie wystąpienia zjawiska jest jak najszybsze zmniejszenie obciążenia, wywieranego na nogę, która uległa niekontrolowanej penetracji. Procedura awaryjna na wypadek przepadnięcia (*punch-through*) zaleca:

- natychmiastowe rozpoczęcie zrzutu przyjętego balastu wodnego;
- rozpoczęcie opuszczania pontonu na pozostałych nogach, które nie penetrują w celu utrzymania wypoziomowania pontonu platformy;
- zakaz uruchamiania systemu podnoszenia na nodze, która penetruje;
- opuszczenie pontonu do zanurzenia, dla którego wyznaczono wartość pływalności.

W pomieszczeniach kontroli podnoszenia platformy często są zainstalowane specjalne przyciski zrzutu awaryjnego, które automatycznie otwierają wszystkie zawory, służące do opróżniania zbiorników balastowych. Jeżeli takiego urządzenia nie ma, to operator powinien rozpocząć zrzut balastu, zaczynając od zbiorników otaczających nogę, która przepada. Średnice zaworów są dobrane w taki sposób, że opróżnienie grawitacyjne zbiornika *pre-load* zajmuje ok. 1 godziny. W sytuacji awaryjnej jest to czas zbyt długi. Z tego powodu najskuteczniejszym sposobem szybkiego odciążenia danej nogi jest wykorzystanie siły wyporu, która powstaje, gdy kadłub platformy znajduje się w wodzie.

W sytuacji, gdy występuje podejrzenie wystąpienia przepadnięcia lub nie uzyskano odpowiednich badań podłoża, zalecane jest wykonanie operacji *pre-load* przy minimalnej odległości dna pontonu do powierzchni wody (*air-gap*) lub nawet w częściowym zanurzeniu. Zadaniem załogi jest takie zaplanowanie operacji, aby przebicie warstwy nastąpiło delikatnie, a noga nie zaczęła się zagłębiać dynamicznie. Znając teoretyczną wartość, przy jakiej nastąpi przełamanie mocnej warstwy podłoża, można policzyć ilość wymaganego balastu przy założonym zanurzeniu, aby uzyskać odpowiedni nacisk na stopę. Należy pamiętać, że operatora ogranicza objętość zbiorników, które ma do dyspozycji. Największe zagrożenie dla platformy istnieje w momencie, kiedy przewidywane przepadnięcie ma nastąpić w końcowym okresie operacji *pre-load*. W takim przypadku nie można wykorzystać opcji zanurzenia pontonu, bo nie będzie możliwości uzyskania wymaganego obciążenia w momencie działania siły wyporu.

Innym rozwiązaniem, które można zastosować, jest metoda rozplukiwania twardej warstwy. Każda z nóg posiada system płukania (*jetting*), który jest wykorzystywany podczas uwalniania nogi z gruntu. Można go jednak użyć również w trakcie *pre-load*, aby tłoczona pod spód stopy woda oddziaływała na podłoże, zmniejszając jego wytrzymałość. Jest to proces ryzykowny, ponieważ zakłóca wyniki otrzymane w trakcie badań laboratoryjnych pobranego rdzenia. Prowadzący operację oficer nie jest w stanie w takiej sytuacji określić, jaką wartość obciążenia ma osiągnąć w celu przebicia warstwy.

W miejscu, gdzie istnieje ryzyko przepadnięcia, zalecana jest procedura obciążania każdej nogi osobno. Należy wtedy rozpocząć operację od nogi dziobowej platformy. Taki wybór ma dwie zalety. Po pierwsze, noga dziobowa umieszczona jest zazwyczaj w osi symetrii pontonu. W momencie jej penetracji operator systemu balastowego i podnoszenia powinien kontrolować tylko jedną płaszczyznę. Platforma przegłębia się jedynie na dziób, a przechył nie będzie ulegał zmianie. W przypadku wyboru jednej z nóg rufowych należy kontrolować zarówno trym

(przechylenie wzdłużne), jak i przechył (przechylenie poprzeczne). Po drugie, w przypadku wystąpienia przepadnięcia (*punch-trough*) wieża wiertnicza znajdująca się z tyłu pontonu przechyla się do przodu. Bardzo często za rufą jednostki znajduje się inna konstrukcja, np. w przypadku prac rekonstrukcyjnych na platformach typu *jacket*. Dzięki wyborowi nogi dziobowej nie nastąpi uderzenie w tę konstrukcję. Bezpieczne wykonanie pełnej operacji *pre-load* na nodze dziobowej pozwala uwiarygodnić posiadane wyliczenia, a w przypadku ich braku uzyskać dane, które pozwalają wnioskować, że pozostałe stopy będą penetrować w taki sam sposób.

Ostatnim elementem ograniczającym ryzyko przepadnięcia jest dokładny monitoring procesu penetracji nóg. Na etapie planowania operator powinien przygotować tabelę lub wykres, pozwalające mu w łatwy sposób kontrolować, czy obserwowana penetracja pokrywa się z wyliczeniami teoretycznymi dostarczonymi w SSA. Sygnałem ostrzegawczym powinien być moment, kiedy nogi przestają się zagłębiać pomimo zwiększania nacisku na stopę, a jeszcze nie udało się osiągnąć maksymalnej wyliczonej głębokości. Może to być informacja, że interpretacja wytrzymałości podłoża była błędna, a platformie może zagrażać przepadnięcie. Należy w takim przypadku rozważyć opuszczenie pontonu na minimalną odległość (*air-gap*), aby w sytuacji awaryjnej kadłub natychmiast się zanurzył i wytworzona została siła wyporu.

PODSUMOWANIE

Pomimo wielu lat doświadczeń z wykorzystaniem platform samopodnośnych nadal dochodzi do wypadków, związanych ze złym oszacowaniem nośności podłoża. Doprowadza to do bardzo ciężkich i kosztownych awarii jednostek, a w najgorszych przypadkach do ich całkowitej utraty. Temat *punch-through* jest ciągle obecny w badaniach naukowych. Nowe metody obliczeniowe i modele matematyczne są wciąż testowane, a na ich podstawie modyfikowane są konstrukcje stóp platform. Niestety, każdy akwen ma swoją własną charakterystykę, toteż doświadczenia np. z Morza Północnego ciężko jest bezpośrednio przenieść na Morze Bałtyckie lub inne rejony świata.

Przedstawione rozważania dotyczyły jednostki typu *jack-up*, używanej od wielu lat w przemyśle wydobywczym. W chwili obecnej, w czasie budowania morskich farm wiatrowych (MEW), pod pojęciem *jack-up* rozumie się również statki instalacyjne do budowy turbin. Są to jednostki posiadające najczęściej cztery nogi kratownicowe, na których podnoszony jest kadłub statku. Posiadają one opisane

w instrukcjach metody przeprowadzenia posadowienia i przeprowadzenia operacji *pre-load*. Jednakże zjawiska opisane wcześniej również ich dotyczą.

Jako elementy zmniejszające ryzyko przepadnięcia w przypadku statków instalacyjnych należy przyjąć, że ich załogi mają dostęp do bardzo dokładnych badań geotechnicznych. Są one niezbędne do przygotowania inwestycji farmy wiatrowej i poprzedzają jej budowę. Dodatkowo przed operacją posadowienia statku uzyskuje się wstępne potwierdzenie założeń i obliczeń, dotyczących wytrzymałości gruntu na podstawie obserwacji prowadzonych podczas instalacji fundamentu.

Innym elementem zmniejszającym ryzyko w przypadku MEW jest fakt, że czas postoju nad wodą jest bardzo krótki w porównaniu z platformami wiertniczymi. Można więc pominąć kwestie wymywania gruntu spod nóg, czy dodatkowych obciążeń, wynikających z sił powstających w trakcie warunków sztormowych. Elementem zwiększającym prawdopodobieństwo wystąpienia awarii jest fakt, że operacje posadowienia i *pre-load* przeprowadza się bardzo często, nawet kilka razy w tygodniu na kolejnych lokalizacjach.

Zagrożenie poważną awarią nie zniknie nigdy. Ważne jest, aby umieć zarządzać takim ryzykiem. Istotna jest świadomość jego istnienia i konieczność poniesienia kosztów na niezbędne badania, obliczenia, a także posiadanie doświadczonej kadry, która w sytuacji krytycznej będzie umiała uniknąć najgorszych skutków wystąpienia nieprzewidzianego zdarzenia.

BIBLIOGRAFIA

1. *Guidelines for Jack-Up Rigs With Particular Reference to Foundation Integrity*, MSL Engineering Limited, Technical Report No. 289, 2004.
2. *Guidelines for Site Specific Assessment of Mobile Jack-up*, Society of Naval Architects and Marine Engineers (SNAME), Technical & Research Bulletin 5-5A, 2008.
3. *Guidelines for Site Specific Assessment of Mobile Jack-Up Units – Gulf of Mexico Annex*, Society of Naval Architects and Marine Engineers (SNAME), Technical & Research Bulletin 5-05 B, 2013.
4. International Standards Organization (ISO), *Oil and Gas Industries Including Lower Carbon Energy – Site-Specific Assessment of Mobile Offshore Units Part 1: Jack-Ups: Elevated at a Site*, Edition 3, 2023.
5. Menzies D.W., Roper R.R., *Comparison of Jackup Rig Spudcan Penetration Methods in Clay*, 2008.

6. Qishuai Yin, Jin Yang, Guoxian Xu, Renjun Xie, Mayank Tyagi, Lilin Li, Xu Zhou, Nanding Hu, Gang Tong, Chao Fu, Da Pang, *Field Experimental Investigation of Punch-through for Different Operational Conditions during the Jack-up Rig Spudcan Penetration in Sand Overlying Clay*, Journal of Petroleum Science and Engineering, 2020, vol. 195.
7. Zhang Xi, Li Yuping, Yang Y., Yi J.T., Lee Fook-Hou, Tan P.L., Wu J.F., Wang S.Q., *A Novel Spudcan Design for Improving Foundation Performance*, Frontiers in Offshore Geotechnics III – Meyer, 2015.

Źródła internetowe

8. <https://riglynx.com/naga-7-punch-through-offshore-malaysia> (dostęp 30.11.2024).
9. *Project Sheet. Transportation Jack-up Rig*, Ensco 122, www.boskalis.com/download-center (dostęp 10.11.2024).
10. *Public Rig Photos*, www.noblecorp.papirfly.com.
11. www.lustedconsulting.ltd.uk/industry_foundation_problems.htm (dostęp 30.11.2024).
12. www.westwoodenergy.com/news/infographics/weekly-global-offshore-rig-counts (dostęp 10.11.2024).



Andrzej Starosta – całe zawodowe życie związany z przemysłem morskim. Absolwent Akademii Morskiej w Gdyni, starszy oficer pokładowy na statkach o pojemności 3000 GT i więcej. Przez wiele lat asystent w Katedrze Eksploatacji Statku na Wydziale Nawigacyjnym AM w specjalności *Przewozy morskie*. Autor publikacji naukowych, współautor skryptów uczelnianych i uczestnik projektów badawczych. Wykładowca akademicki i instruktor na kursach specjalistycznych STCW. Od 13 lat związany z branżą *Oil & Gas* jako *Barge Master* na platformach wiertniczych *jack-up* różnego typu, operujących na Morzu Bałtyckim.

Odpowiedzialny za bezpieczeństwo platformy w czasie holowania i instalacji na nowej lokalizacji w trakcie kilkudziesięciu operacji tego typu. Uczestnik projektów transportu zakupionej platformy na statku *heavy-lift* oraz przywrócenia jednostki do pełnej sprawności operacyjnej po jej długotrwałym wyłączeniu z eksploatacji.

Patryk JUSZKIEWICZ

Rozdział 8

KAMPANIE GEOTECHNICZNE JAKO JEDEN Z ELEMENTÓW FAZY ROZWOJU MORSKIEJ ELEKTROWNI WIATROWEJ

WSTĘP

Kampanie geotechniczne są nieodłącznym elementem fazy rozwojowej (DEVEX) morskiej elektrowni wiatrowej (MEW) oraz rozpoznania geologicznego pod platformy wiertnicze w przemyśle wydobywczym. Ich głównym celem jest rozpoznanie ośrodka gruntowego w miejscu planowanej inwestycji [15].

Służą one m.in. do rozpoznania geologicznego miejsca, gdzie ma powstać przyszła inwestycja, pozwalają na zaprojektowanie fundamentów pod turbiny oraz dobranie technologii układania kabli eksportowych oraz wewnętrznych. W ramach kampanii geotechnicznych wykonywanych jest wiele badań na morzu, a następnie na pobranych próbach gruntu lub rdzeni skalnych prowadzone są kompleksowe programy badań laboratoryjnych na lądzie, zarówno tych podstawowych, jak i zaawansowanych. Głównym celem opracowania jest przedstawienie najczęściej wykorzystywanych badań geotechnicznych, jednostek wpływających oraz najważniejszych ryzyk związanych z kampaniami geotechnicznymi wraz ze sposobami ich mitygacji.

Podobnie jak przy inwestycjach lądowych, wybudowanie morskiej elektrowni wiatrowej posadowionej na dnie morskim lub postawienie platformy wydobywczej należy poprzedzić wykonaniem badań geotechnicznych, pozwalających na rozpoznanie geologii badanego obszaru, co pozwoli na odpowiednie zaprojektowanie fundamentów. Brak wykonanych badań może doprowadzić do poważnych konsekwencji, np. zawalenia konstrukcji lub przewrócenia się platformy wydobywczej.

Bez względu na cel wykonywania badań geotechnicznych są one uważane za skomplikowane operacje z powodu środowiska, w jakim są wykonywane,

tj. strefy przybrzeżnej lub pełnego morza. W związku z tym bardzo ważnym elementem w planowaniu kampanii geotechnicznych jest zidentyfikowanie ryzyk oraz sposoby ich mitygacji.

Należy dodać, iż oprócz ryzyk obejmujących samo prowadzenie kampanii geotechnicznych istnieją również ryzyka, związane z geologią i samym posadowieniem konstrukcji na obszarach morskich. Tematyka dotycząca posadowienia oraz projektowania geotechnicznego nie jest poruszana w niniejszej pracy, więcej informacji w tym zakresie można znaleźć w literaturze przedmiotu, przykładowo [3, 4, 15].

Poniżej opisano najczęściej wykorzystywane badania geotechniczne, jednostki wpływające, z jakich są realizowane, planowanie kampanii oraz ważniejsze ryzyka, jakie towarzyszą kampaniom geotechnicznym na różnych etapach realizacji.

2. RODZAJE BADAŃ GEOTECHNICZNYCH WYKONYWANYCH NA MORZU

Na rynku dostępnych jest wiele rodzajów badań geotechnicznych, wykorzystywanych do rozpoznania ośrodka gruntowego pod planowane inwestycje, które przedstawiono w poniższych rozdziałach. Należy zaznaczyć, iż badania wykonywane na morzu czy też w strefie przybrzeżnej nie różnią się zasadniczo od tych wykonywanych na lądzie – inna jest jedynie technologia wykonywania takich badań, sama koncepcja jest taka sama.

2.1. Sondowania CPTU

Aktualnie najczęściej wykorzystywaną metodą do rozpoznania geotechnicznego pod inwestycje morskich elektrowni wiatrowych jest sondowanie CPTU. Badanie polega na wciskaniu w podłoże gruntu stożka piezoelektrycznego i mierzeniu oporów pod stożkiem, na jego pobocznicach oraz ciśnienia wody w porach gruntu. Na podstawie zmierzonych wartości, za pomocą szeroko dostępnych w literaturze przedmiotu wzorów empirycznych, można obliczyć parametry wytrzymałościowe gruntu, które z kolei można wykorzystać do zaprojektowania fundamentu lub sprawdzić, czy postawienie platformy wiertniczej będzie bezpieczne. Sondowania CPTU są bardzo szeroko omówione w literaturze przedmiotowej, np. [13].

2.2. Pobór prób gruntu i skał

Większości kampanii geotechnicznych, gdzie wykonywane są sondowania CPTU, towarzyszy pobór prób gruntu, na których w kolejnym etapie wykonywane są badania laboratoryjne. W zależności m.in. od obszaru badań, rodzaju inwestycji czy złożoności geologicznej pobór prób gruntu może być wykonany bezpośrednio przy wszystkich sondowaniach CPTU lub jedynie w kilku wybranych miejscach na badanym obszarze. Badania laboratoryjne na pobranych próbkach pozwalają na zweryfikowanie wyników z sondowań CPTU, a te najbardziej zaawansowane badania mogą dostarczyć informacji, w jaki sposób grunt lub skała będą się zachowywać pod obciążeniem cyklicznym, pochodzącym od falowania, wiatru bądź obrotów samych łopat turbiny wiatrowej.

Na rynku dostępnych jest wiele metod, wykorzystywanych do poboru prób gruntu i skał, są to m.in. [12]:

- metody bez wykorzystania wiertnicy:
 - wibrordzeniówka lub wibrosonda,
 - rdzeniówka skrzynkowa,
 - rdzeniówka tłokowa,
 - próbnik grawitacyjny;
- metody z wykorzystaniem wiertnicy:
 - rdzeniowanie,
 - pobór za pomocą próbników stalowych,
 - próbnik wibracyjny,
 - próbnik młotkowy.

Należy zaznaczyć, iż w zależności od technologii będzie inna jakość (stopień naruszenia) pobranej próby i niektórych badań laboratoryjnych nie powinno się wykonywać, gdyż otrzymane wyniki mogą być niewiarygodne. Podczas planowania kampanii geotechnicznych stosuje się normy, np. [11, 12], które określają klasę metody poboru oraz wymagania jakości próbek do poszczególnych badań laboratoryjnych.

W kolejnych podrozdziałach przedstawiono szerzej metody poboru, które są najczęściej wykorzystywane podczas kampanii geotechnicznych [11, 12].

2.2.1. Wibrordzeniówka

Zastosowanie. Wibrordzeniówka albo też wibrosonda wykorzystywana jest do poboru prób gruntu z warstwy powierzchniowej dna morskiego, głównie w ramach badań środowiskowych oraz na trasie kabli eksportowych lub kabli układanych na obszarze morskiej elektrowni wiatrowej.

Urządzenie nie pozwala na pobranie nienaruszonych prób gruntu i przeważnie na pobranym materiale są wykonywane jedynie badania klasyfikacyjne, przewodności cieplnej oraz chemiczne. W przypadku prowadzenia również badań wytrzymałościowych wyniki należy wykorzystywać z dużą ostrożnością.

Metodologia. Podczas poboru stalowy próbnik pogrążany jest za pomocą wibratora znajdującego się u góry rdzeniówki, a jego długość w zależności od producenta może się wahać od 3 do nawet 10 m. Średnica pobieranych prób może wynosić od 75 do 150 mm [12]. Należy tutaj zaznaczyć, iż długość samego próbnika nie gwarantuje poboru próby do takiej głębokości – uzysk będzie zależał w głównej mierze od warunków gruntowych i może być znacznie mniejszy niż długość próbnika.

Czas trwania poboru jednej próby gruntu wynosi ok. 1 godzinę (włączając w to ustawienie statku na pozycji, opuszczenie urządzenia na dno). Zależy to od warunków pogodowych, statku oraz samych warunków gruntowych.

Niektóre z ryzyk związane z wykorzystaniem wibrordzeniówki są następujące:

- nieosiągnięcie wymaganej penetracji rdzeniówki, uzysku;
- niesprzyjające warunki pogodowe, uniemożliwiające pobór prób;
- w przypadku wykonywania badań wytrzymałościowych wyniki należy traktować z dużą ostrożnością.

2.2.2. Rdzeniówka skrzynkowa

Zastosowanie. Rdzeniówka skrzynkowa wykorzystywana jest do poboru nienaruszonych prób osadów dennych do głębokości ok. 0,50 m na potrzeby badań środowiskowych lub geotechnicznych. Na pobranych próbkach najczęściej oznaczana jest wytrzymałość gruntu na ścinanie, wilgotność, gęstość objętościowa oraz może zostać wykonana analiza granulometryczna [12].

Metodologia. Urządzenie opuszczane z jednostki pływającej za pomocą dźwigu lub ramy, pod własnym ciężarem i dodatkowym obciążeniem penetruje dno morskie.

Po zakończeniu poboru próbnik jest podciągany do góry, zamykając jednocześnie podstawę próbnika i uniemożliwiając utratę pobranej próby gruntu [12].

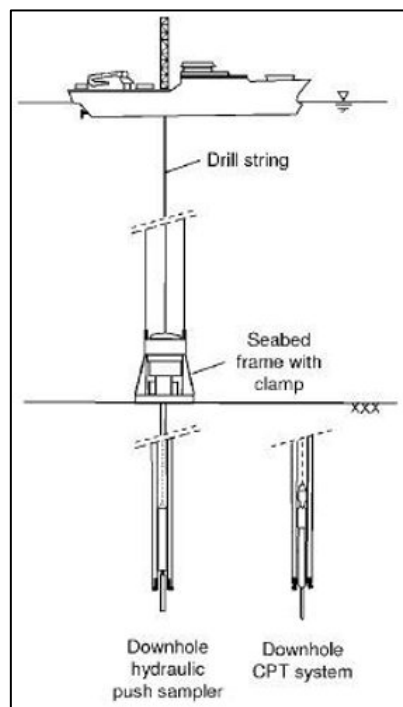
2.2.3. Pobór gruntu z wykorzystaniem wiertnicy

Zastosowanie. Metody opisane w punktach 2.2.1 i 2.2.2 wykorzystywane są do płytkiego rozpoznania geotechnicznego. W przypadku planowania badań geotechnicznych pod fundamenty MEW lub platform wiertniczych należy zastosować metody, które umożliwią znacznie głębsze rozpoznanie warunków gruntowych. Jednym z takich sposobów jest wykorzystanie statku z wiertnicą lub platformy samopodnoszącej (*jack-up*) oraz wykonanie odwiertów. Głębokość rozpoznania będzie zależać m.in. od celu geologicznego, ale generalnie dla celów planowania badań można przyjąć, iż nie przekroczy ona 100 m w MEW oraz 50 m dla platform wiertniczych.

Metodologia. Na rynku istnieje wiele rozwiązań do wykonywania odwiertów oraz poboru prób gruntu czy rdzeniowania w materiale skalnym. Jednym z często spotykanych jest metoda, polegająca na wykorzystaniu tradycyjnego wiercenia i umieszczeniu w środku rur wiertniczych urządzenia wciskającego próbnik stalowy lub aparatu do rdzeniowania.

Schemat przedstawiono na rysunku 1.

Stosując tę metodę, można pobrać nienaruszone próby gruntu, rdzenie materiału skalnego oraz wykonać sondowania CPTU (rys. 1). Jest to niezwykle efektywne rozwiązanie, gdyż pozwala na wykorzystanie tych wszystkich metod w ramach tego samego odwiertu bez konieczności przestawiania statku na inną pozycję i rozpoczynania odwiertu od początku. Czas trwania jednego odwiertu będzie zależał od warunków gruntowych. Do planowania można przyjąć postęp prac ok. 1 m na godzinę, co oznacza, iż odwiert o docelowej głębokości 60 m powinien być zakończony, nie wliczając



Rys. 1. Schemat systemu wrzutowego

Źródło: <https://nardiaptap.wixsite.com>.

postojów, w ok. 60 godzin. Postęp ten będzie szybszy w gruntach niespoistych oraz słabych glinach, natomiast może zwolnić w przypadku rdzeniowania w skałach lub poborze gruntu w mocno skonsolidowanym materiale.

Niektóre ryzyka podczas prac wiertniczych obejmują:

- warunki atmosferyczne uniemożliwiające kontynuowanie prac wiertniczych;
- natrafienie na głązy, które mogą uniemożliwić kontynuowanie odwiertu,
- trudne warunki gruntowe i wolniejszy postęp prac,
- natrafienie na płytki gaz.

2.3. Metody geofizyczne

Zastosowanie. Metody geofizyczne, takie jak profilowanie otworowe lub sondowania CPTU z modułem sejsmicznym, służą do określenia sztywności gruntu, który jest jednym z kluczowych elementów podczas projektowania pali wielkośrednicowych pod wieże morskich turbin wiatrowych.

Ze względu na różne głębokości, gdzie zaleca się stosować te metody, najczęściej są one wykonywane łącznie tak, aby uzyskać informację na temat sztywności gruntu na całej wymaganej głębokości rozpoznania, tzn. od dna morskiego do spodziewanej głębokości penetracji fundamentu.

Obszerne omówienie obu metod wraz z zaletami, wadami oraz towarzyszącymi ryzykami podczas wykonywania badań można znaleźć w [14].

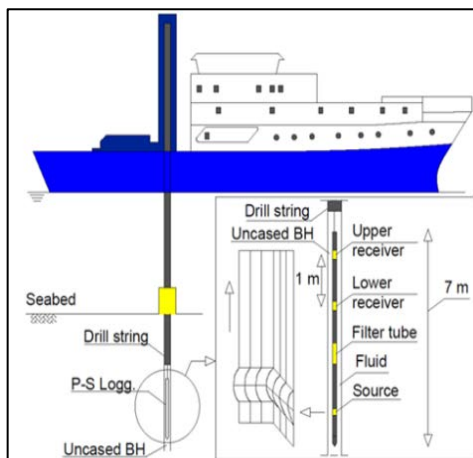
2.3.1. Profilowanie otworowe

Metodologia. Profilowanie otworowe polega na generacji fali akustycznej wewnątrz wykonanego odwiertu i zapisie czasów przybycia fal ściskających (P) oraz ścinających (S) do odbiornika rejestrującego (np. geofon). Na ich podstawie obliczana jest prędkość propagacji fal w gruncie i następnie moduł ścinania (sztywność gruntu).

Należy zaznaczyć, iż fale akustyczne poruszają się po ścianach wykonanego odwiertu i jego nieregularność może mieć znaczny wpływ na otrzymane wyniki.

Po zakończeniu odwiertu urządzenie profilujące opuszczane jest za pomocą wyciągu w dół odwiertu, po czym następuje jego profilowanie geofizyczne (generowanie fal akustycznych oraz ich rejestracja przez odbiornik) ku górze.

Uproszczony schemat badania oraz służące do niego urządzenie przedstawiono na rysunkach 2 i 3.



Rys. 2. Uproszczony schemat profilowania otworowego

Źródło: opracowanie własne.



Rys. 3. Urządzenie służące do profilowania otworowego

Źródło: www.robertson-geo.com.

Zaletą stosowania tego rozwiązania jest niewątpliwie nieograniczona głębokość, do jakiej można wykonać profilowanie, oraz jego szybkość. Profilowanie odwiertu o głębokości 60 m może zająć jedynie kilka godzin. Z minusów należy wskazać, że niemożliwe jest wykonanie badania do samego dna morskiego ze względu na duże ryzyko zawalenia się odwiertu i utraty urządzenia. Wykonawcy przeważnie odmawiają wykonania badania w przedziale głębokości 0,00–10 m [14].

Niektóre ryzyka obejmują:

- ryzyko zawalenia się odwiertu, szczególnie wysokie w pierwszych kilku metrach od dna morskiego;
- nieregularność ścian odwiertu jako czynnik wpływający na jakość danych;
- niewystarczającą jakość danych do wyprowadzenia wymaganych parametrów sztywności gruntu;

- hałas pochodzący od statku (np. śruby, wiertnica) mogący zakłócić wykonywanie badania i tym samym pogorszyć jakość danych; im trudniejsze warunki pogodowe, tym hałas ze statku będzie większy ze względu na bardziej intensywną pracę systemu pozycjonowania dynamicznego.

2.3.2. Sondowania CPTU z modułem sejsmicznym

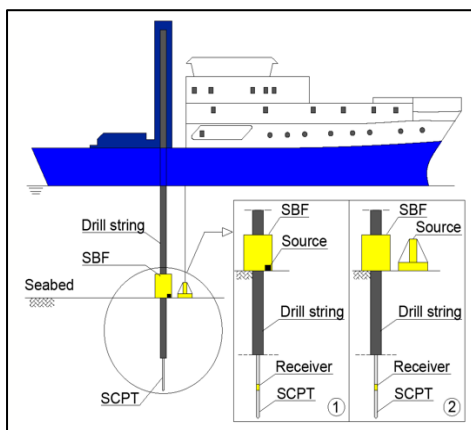
Metodologia. Sondowania CPTU z modułem sejsmicznym nie różnią się znacznie od tych standardowych CPTU – dochodzą tutaj urządzenia generujące i rejestrujące fale akustyczne, odpowiednio tzw. młot oraz np. geofony.

Podczas standardowego sondowania CPTU w celu wykonania badania sejsmicznego penetracja stożka jest zatrzymywana na określonej głębokości, po czym następuje generowanie fal akustycznych za pomocą młota. Czas przybycia fal ściskających i ścinających jest rejestrowany przez geofony, a następnie służy do określenia ich prędkości propagacji w gruncie.

Wadą tego rozwiązania jest ograniczona głębokość, do jakiej można wykonać badanie ze względu na sygnał słabnący wraz z głębokością badania. Przyjmuje się, iż badanie można wykonywać do ok. 30 m, ale tak jak w przypadku pozostałych badań osiągalna głębokość będzie zależała od warunków gruntowych. Dodatkowo, badania sejsmiczne znacznie spowalniają standardowe sondowania CPTU. Co więcej, badanie to jest wrażliwe na hałas pochodzący ze statku (np. śruby, wiertnica w przypadku wykonywania badania w systemie otworowym) [6, 14].

Niektóre ryzyka są następujące:

- podobnie jak w profilowaniu otworowym, hałas pochodzący od statku, niewystarczająca jakość danych;
- nieosiągnięcie wymaganej głębokości rozpoznania;
- w przypadku systemu z jednym geofonem znaczne utrudnienie i wydłużenie prac.



Rys. 4. Schemat badania CPTU z modułem sejsmicznym

Źródło: opracowanie własne.

2.4. Badanie przewodności cieplnej *in situ*

Zastosowanie. Przewodność cieplna gruntu jest niezbędnym parametrem, służącym do zaprojektowania kabli energetycznych, zarówno tych eksportowych, jak i tych łączących poszczególne turbiny ze stacją transformatorową. Determinuje ona m.in. grubość otuliny kabla oraz głębokość jego zagłębienia w dnie akwenu morskiego.

Badania przewodności cieplnej mogą być wykonywane zarówno *in situ*, jak i na pobranych próbach gruntu: bezpośrednio po poborze na jednostce pływającej lub w późniejszym etapie w laboratorium lądowym.

Metodologia (badanie *in situ*). Badanie przewodności cieplnej może zostać przeprowadzone m.in. za pomocą sondowania T-CPTU lub wibrordzeniówki. W obu przypadkach urządzenie jest opuszczane na dno akwenu morskiego z użyciem ramy lub dźwigu znajdującego się na pokładzie jednostki pływającej, po czym następuje wciskanie stożka lub rdzeniówki w podłoże gruntowe. Po osiągnięciu wymaganej bądź osiągalnej głębokości penetracji dokonuje się pomiaru przewodności cieplnej.

Niektóre ryzyka wynikają z:

- nieosiągnięcia wymaganej głębokości rozpoznania charakterystyki cieplnej gruntu;
- warunków pogodowych uniemożliwiających wykonanie pomiaru, przerwanie prac.

Bardzo często spotykaną i zalecaną praktyką, ponad wykonane pomiary *in situ*, jest przeprowadzenie dodatkowo badań przewodności cieplnej za pomocą ręcznego urządzenia bezpośrednio po poborze prób gruntu oraz następnie w laboratorium przy określonych i kontrolowanych warunkach zewnętrznych. Więcej informacji dotyczących samego badania można znaleźć w [1].

3. JEDNOSTKI PŁYWAJĄCE WYKORZYSTYWANE DO BADAŃ GEOTECHNICZNYCH

3.1. Jednostki stosowane do rozpoznania geotechnicznego

Badania geotechniczne w zależności od miejsca wykonywania, głębokości wody oraz wymaganej głębokości rozpoznania mogą być prowadzone z następujących jednostek:

- statki z systemem pozycjonowania dynamicznego: obszar farmy wiatrowej, trasy kabli;
- platformy samopodnoszące: przejście ląd – morze, obszar farmy;
- pontony: porty, nabrzeża.

Dobór jednostki determinuje przede wszystkim rodzaj wymaganych badań i głębokość wody. W przypadku głębokich odwiertów na pełnym morzu najbardziej efektywnym i najczęściej wybieranym rozwiązaniem jest statek z systemem dynamicznego pozycjonowania (DP). Platformy samopodnoszące mogą również zostać wykorzystane, natomiast należy zwrócić uwagę, iż w ich przypadku znacznym ograniczeniem będzie głębokość wody, do jakiej platforma będzie mogła pracować. Jest to szczególnie istotne w przypadku badań w strefie przybrzeżnej, należy wziąć tu pod uwagę wymagane minimalne zanurzenie jednostki pływającej. Dodatkowo, czas ustawienia platformy na punkcie badawczym będzie znacznie dłuższy w porównaniu ze statkiem z systemem DP.

Zaletą zastosowania platformy, po jej ustawieniu na punkcie, są wyższe limity warunków pogodowych, tj. wiercenia mogą być kontynuowane tam, gdzie statek z DP zatrzymuje operację.

Wymagania dla jednostek pływających są szerzej opisane w [12].

3.2. Warunki pogodowe

Morskie elektrownie wiatrowe z przyczyn oczywistych planowane są w miejscach, gdzie występują korzystne warunki wiatrowe, tzn. tam, gdzie wieje silny i stabilny wiatr. Parametry takie jak prędkość wiatru, wysokość fali oraz prędkość prądów morskich bezpośrednio wpływają na możliwość wykonywania kampanii geotechnicznych. Przykładowo, dla kampanii geotechnicznej, wykonywanej z pokładu statku z wiertnicą, planowanej na Morzu Bałtyckim, okres od listopada do lutego można uznać za niekorzystny do prowadzenia prac ze względu na krótkie okna pogodowe. Prace prowadzone w tym okresie trwałyby dłużej i kosztowały więcej.

Przy planowaniu prac na morzu niezbędne jest pozyskanie statystyk pogodowych i oszacowanie liczby dni przestojów. Te będą zależeć m.in. od rodzaju planowanych badań i dzielności jednostki.

3.3. Operacyjność jednostek

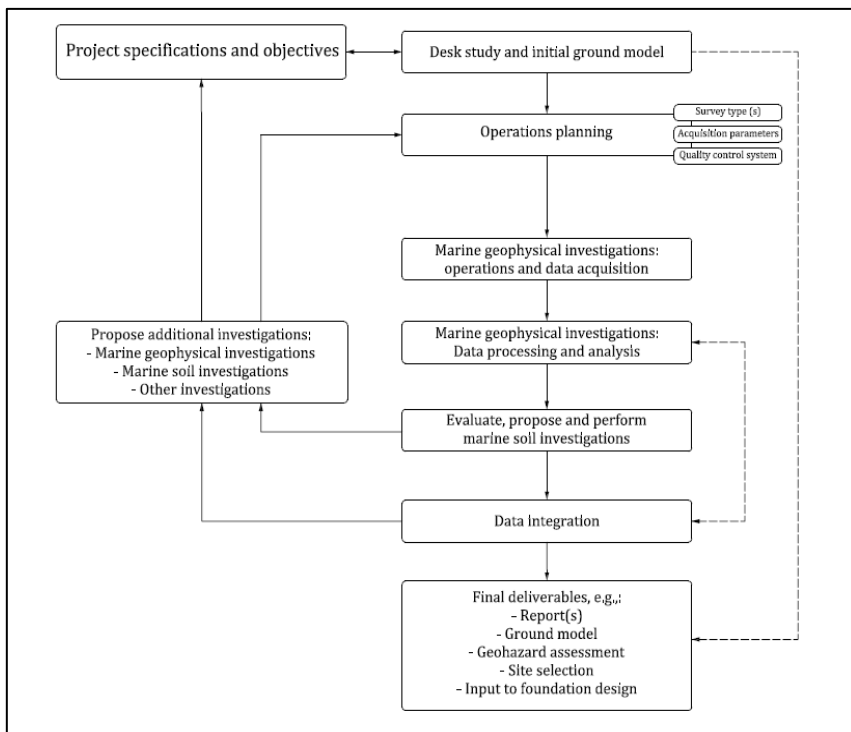
Przy planowaniu badań geotechnicznych należy wybrać odpowiednią jednostkę, z której będzie można wykonać badania w sposób bezpieczny i efektywny. Przykładowo, w przypadku prac wiertniczych statki powinny mieć możliwość prowadzenia prac przy wietrze do około 20 węzłów i wysokości fali 1,50 m. Wyższe limity operacyjne oznaczają, iż jednostka będzie pracować w trudniejszych warunkach atmosferycznych i tym samym kampania geotechniczna będzie mogła zostać szybciej ukończona. Należy jednak zwrócić uwagę, iż wraz z wyższymi limitami operacyjności jednostki najczęściej wzrasta też koszt wykonywanych przez nią prac.

4. PLANOWANIE KAMPANII GEOTECHNICZNYCH

4.1. Etapowość badań

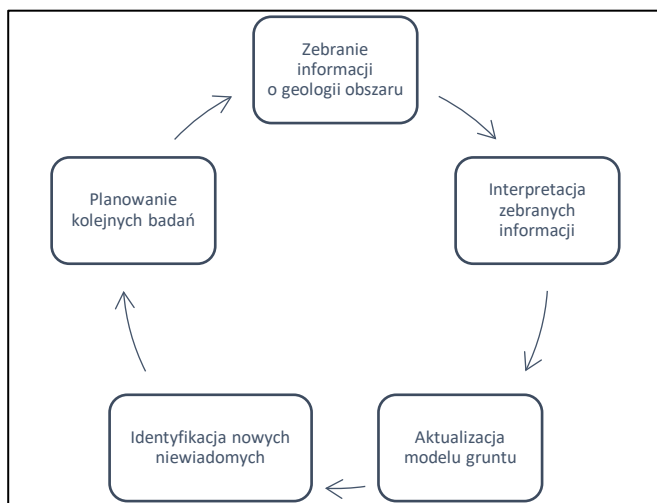
Przy planowaniu kampanii geotechnicznych nie sposób pominąć poprzednich kroków, jakie należy podjąć, aby odpowiednio zaplanować badania geotechniczne. Po uzyskaniu koncesji na obszar, na którym ma powstać przyszła elektrownia wiatrowa, w pierwszym kroku wykonuje się studium archiwów i publicznie dostępnych materiałów, które pozwolą zbudować wstępny model geologiczny i zaplanować kampanie badawcze. W kolejnym kroku najczęściej wykonywane są nieinwazyjne badania geofizyczne, na podstawie których można uzyskać informacje na temat jednostek geologicznych, występujących w obszarze, i wybrać konkretne lokalizacje pod badania geotechniczne. Po każdym z etapów model geologiczny jest aktualizowany o nowo pozyskane informacje. Dzięki temu kolejne kampanie geofizyczne i geotechniczne mogą być zaplanowane tak, aby zapewnić doszczegółowienie rozpoznania i pozwolić na uzupełnienie informacji o geologii obszaru [12].

Na rysunku 5 przedstawiono typową sekwencję aktywności w badaniach morskich [12], natomiast na rysunku 6 – proces budowy modelu geologicznego.



Rys. 5. Typowa sekwencja aktywności w badaniach morskich

Źródło: [12].



Rys. 6. Proces budowy modelu gruntu

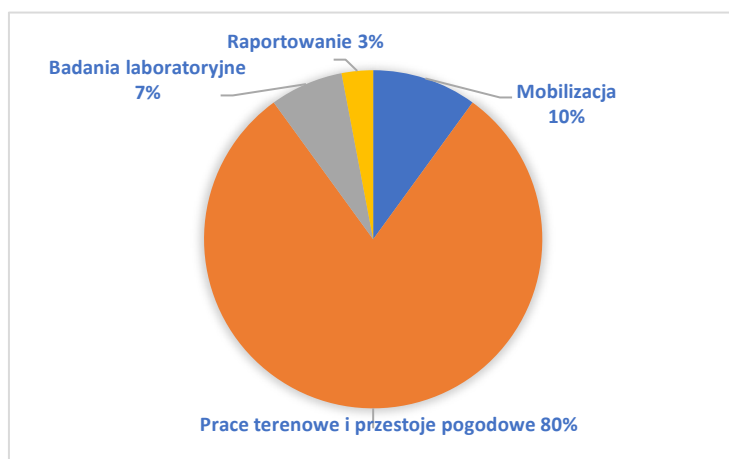
Źródło: opracowanie własne.

4.2. Koszt badań

Do zaplanowania kampanii geotechnicznych niezbędne jest oszacowanie ich kosztu, który zależy m.in. od:

- liczby lokalizacji do przebadania;
- odległości obszaru do badań od lądu / portu;
- warunków gruntowych;
- wymaganej głębokości rozpoznania;
- rodzaju wymaganych badań (np. CPTU, pobór prób gruntu, PS Logging);
- typu jednostki (statek, platforma samopodnosząca);
- sezonu, w jakim będą wykonywane prace (warunki pogodowe);
- dostępności wykonawców.

Przykładowy procentowy udział poszczególnych elementów, składających się na kampanię geotechniczną, przedstawiono na rysunku 7.



Rys. 7. Procentowy udział kosztów dla poszczególnych elementów kampanii geotechnicznej

Źródło: opracowanie własne.

Powyższy przykład dotyczy kampanii geotechnicznej, podczas której wykonano głównie sondowania CPTU pod konkretne lokalizacje fundamentów morskich turbin wiatrowych. Dla wstępnych kampanii geotechnicznych, gdzie badania wykonuje się na kilku lub kilkunastu lokalizacjach, procentowy udział

kosztów prac terenowych oraz przestojów pogodowych może być znacznie niższy, zwiększając procentowo np. koszt mobilizacji statku, badań laboratoryjnych.

Koszt kampanii geotechnicznych liczony jest w milionach złotych i może stanowić nawet około 15–25% całej fazy rozwojowej projektu [10].

4.3. Sekwencja kampanii geotechnicznej

Kampania geotechniczna, realizowana w ramach inwestycji morskiej elektrowni wiatrowej na obszarze morskim, może trwać kilka miesięcy. Jej długość zależy głównie od warunków gruntowych, liczby oraz złożoności badań, okresu, w jakim będą prowadzone prace.

Na rysunku 8 przedstawiono przykładowy harmonogram dla wstępnej kampanii geotechnicznej.



Rys. 8. Przykładowy harmonogram kampanii geotechnicznej

Źródło: opracowanie własne.

4.4. Obszar do rozpoznania

Rodzaj badań geotechnicznych różni się w zależności od obszaru, na jakim planuje się wykonanie badań, sposobu posadowienia wież pod turbiny wiatrowe oraz warunków gruntowych.

W przypadku badań geotechnicznych pod kable energetyczne najczęściej wykonuje się sondowania CPTU oraz pobiera próby gruntu do podstawowych badań laboratoryjnych. Dodatkowo wykonywane są również badania *in situ* przewodności cieplnej, a sama głębokość rozpoznania geotechnicznego najczęściej nie przekracza 6 m.

Dla fundamentów turbin MEW program badań geotechnicznych jest zdecydowanie najbardziej złożony: wykonywane są m.in. sondowania CPTU, pobór prób

gruntu/skał, profilowanie otworowe, sondowania CPTU z modulem sejsmicznym. Na pobranych próbach gruntu i skał wykonywany jest kompleksowy program badań laboratoryjnych (badania podstawowe, wytrzymałościowe, dynamiczne), który może potrwać kilka miesięcy.

W przemyśle wydobywczym w celu wykonania analizy osiadań platformy wiertniczej wykonywane są odwierty z poborem prób gruntu oraz sondowania CPTU, najczęściej do głębokości 30 m lub do spodziewanej głębokości osiadania platformy powiększonej o 1,5–2,0 średnicy nogi platformy [9]. Na pobranych próbach gruntu mogą zostać wykonane podstawowe oraz wytrzymałościowe badania laboratoryjne.

Szerzej opisane rekomendacje przy planowaniu kampanii geotechnicznych można znaleźć m.in. w [2, 5, 9, 16].

5. WAŻNIEJSZE RYZYKA PRZY WYKONYWANIU KAMPANII GEOTECHNICZNYCH ORAZ SPOSOBY ICH MITYGACJI

5.1. Niesprzyjające warunki pogodowe

Warunki pogodowe mają bezpośredni wpływ na długość trwania kampanii geotechnicznych, zarówno tych wykonywanych na obszarze morskim, jak i w strefie przybrzeżnej. Przedłużające się przestoje jednostki ze względu na niekorzystne warunki pogodowe prowadzą do wydłużenia czasu kampanii oraz zwiększenia jej kosztu.

Wspomniane wyżej ryzyko można mitygować poprzez:

- analizę długości okien pogodowych, podczas których mają zostać wykonane badania geotechniczne;
- zakontraktowanie statku o odpowiednio wysokich limitach operacyjnych;
- jeżeli to możliwe, wykonywanie badań podczas okresu letniego;
- wprowadzenie mechanizmów do umowy z wykonawcą, gdzie ryzyko postojów ze względu na niekorzystne warunki pogodowe będzie po stronie wykonawcy lub obu stronach, tj. po stronie wykonawcy oraz zamawiającego;
- bieżący nadzór prac i możliwie najefektywniejsze wykorzystanie dostępnych okien pogodowych.

5.2. Trudne warunki gruntowe

Podczas badań geotechnicznych, mimo wcześniej przeprowadzonych badań geofizycznych oraz analizy danych archiwalnych, może się okazać, iż napotkane warunki gruntowe różnią się znacznie od tych spodziewanych. Wybrana technologia badań geotechnicznych może nie być odpowiednia, aby wykonać rozpoznanie podłoża gruntowego, co w konsekwencji może doprowadzić do zwiększenia kosztów badań oraz wydłużenia czasu ich trwania. Szczególnie istotnym elementem przy planowaniu kampanii geotechnicznych na obszarach, gdzie wcześniej nie wykonano żadnych odwiertów i brakuje potwierdzonych informacji na temat geologii, jest wybranie odpowiedniego wykonawcy, który będzie miał do dyspozycji technologie, umożliwiające rozpoznanie geologii do wymaganej głębokości bez straty w zakresie jakości pozyskanych danych i pobranych prób gruntu lub skał.

To ryzyko można mitygować poprzez:

- wybór doświadczonego wykonawcy, który posiada kilka rozwiązań do prowadzenia badań;
- przygotowanie wstępnego modelu gruntu i spodziewanych warunków gruntowych na podstawie wszystkich dostępnych informacji;
- wykonanie badań geofizycznych;
- szczegółową analizę dostępnych informacji;
- podział kampanii geotechnicznych na kilka etapów.

5.3. Przeszkody znajdujące się na dnie akwenu morskiego

Na dnie akwenu morskiego może znajdować się wiele przeszkód, które mogą uniemożliwić postawienie urządzenia badawczego. Do najczęściej spotykanych zalicza się:

- instalacje podmorskie (np. rurociągi, kable przesyłowe);
- niewybuchy;
- wraki statków;
- głazy.

W celu mitygacji tego ryzyka, przed rozpoczęciem badań geotechnicznych, wykonuje się badania geofizyczne, które pozwalają na zidentyfikowanie, czy na dnie akwenu morskiego, w miejscu planowanych badań geotechnicznych, znajdują się przeszkody. W przypadku stwierdzenia obecności przeszkody punkt badawczy

można przesunąć w miejsce, w którym można bezpiecznie postawić urządzenie, np. CPTU.

5.4. Pozostałe ryzyka

Podczas wykonywania badań geotechnicznych, poza ryzykami związanymi z wykorzystywaną technologią badawczą, istnieją również ryzyka w zakresie obsługi samej jednostki, z której wykonywane są prace. Przed rozpoczęciem prac zaleca się, aby przeprowadzić z wykonawcą spotkanie, podczas którego zostaną omówione zagrożenia, związane z planowanymi badaniami, oraz przeprowadzona zostanie analiza zidentyfikowanych ryzyk i możliwości ich mitygacji.

PODSUMOWANIE

Celem pracy było wprowadzenie w tematykę badań geotechnicznych, wykonywanych na obszarach morskich na potrzeby inwestycji morskich elektrowni wiatrowych oraz w przemyśle wydobywczym wraz z identyfikacją towarzyszących im ryzyk przede wszystkim na etapie operacyjnym.

Przedstawiono najczęściej wykorzystywane badania geotechniczne do rozpoznania geologii badanego obszaru. Ze względu na środowisko, w jakim wykonywane są badania geotechniczne, należy uznać je za skomplikowane operacje i zaleca się, aby przed każdą planowaną kampanią zidentyfikować możliwe ryzyka oraz znaleźć możliwe sposoby ich mitygacji.

Do najważniejszych ryzyk na etapie operacyjnym zaliczono trudne warunki gruntowe, które mogą utrudnić lub nawet uniemożliwić rozpoznanie geologii do wymaganej głębokości, przedłużające się przestoje jednostki ze względu na złe warunki pogodowe, co może spowodować znaczne zwiększenie kosztów kampanii oraz przeszkody znajdujące się na dnie akwenu morskiego.

Ryzyk na poziomie operacyjnym jest znacznie więcej, np. z perspektywy obsługi statku, toteż należy je dokładnie omówić z wykonawcą przed rozpoczęciem prac.

Nie omówiono tu wszystkich wykorzystywanych badań geotechnicznych ani też nie zidentyfikowano wszystkich możliwych ryzyk. Niniejsza praca jedynie wprowadza w tematykę badań geotechnicznych wykonywanych na morzu oraz przytacza literaturę przedmiotu i normy, w których można znaleźć szczegółowe informacje, zalecenia i wymagania.

Przed przystąpieniem do kampanii geotechnicznych, bez względu na jej kompleksowość, należy zapoznać się z aktualnie obowiązującymi przepisami krajowymi, normami oraz literaturą fachową.

BIBLIOGRAFIA

1. ASTM D5334 *Standard Test Method for Determination of Thermal Conductivity of Soil and Rock by Thermal Needle Probe Procedure*.
2. DNVGL-RP-C212, *Offshore Soil Mechanics and Geotechnical Engineering*, Recommended Practice, 2017.
3. Doherty P., Kenneth G., Bernard C., *The Geotechnical Challenges Facing the Offshore Wind Sector*, American Society of Civil Engineers, 2011.
4. Eamer J., Mackillop K., *Geotechnical Parameters Important for Offshore Wind Energy in Atlantic Canada*, 2022.
5. Ellery G.D., Comrie R.J., *Scoping Appropriate Feasibility Level Geophysical and Geotechnical Survey for Offshore Wind – Offsetting Cost against Knowledge Gain*, Cathie Associates Ltd. Newcastle-upon-Tyne, UK, 2019.
6. Gibbs P., Pedersen R.B., Krogh L., Christopher N., Sampurno B., Nielsen S.W., *Cone Penetration Testing, Challenges in Marine Seismic Cone Penetration Testing*, Delft University of Technology, Delft, Holandia, 2018.
7. Gourvenec S., *Offshore Geotechnical Challenges of the Energy Transition*, School of Engineering, University of Southampton, Southampton, UK, 2023.
8. Gribble J., Leather S., EMU Ltd. *Offshore Geotechnical Investigations and Historic Environment Analysis: Guidance for the Renewable Energy Sector*, Commissioned by COWRIE Ltd (project reference GEOARCH-09), 2011.
9. *Guidelines for Site Specific Assessment of Mobile Jack-up Units*, Technical & Research Bulletin 5-5A, The Society of Naval Architects and Marine Engineers, Jersey City, New Jersey, USA, 2022.
10. *Guide to a Floating Offshore Wind Farm*, Offshore Renewables Energy Catapult, The Crown Estate and Crown Estate Scotland, BVG Associates, 2023.
11. ISO-22475-1:2021, *Technical Principles for the Sampling of Soil, Rock and Groundwater*.
12. ISO-19901-8:2023, *Marine Soil Investigations*.
13. Lunne T., Robertson P.K., Powell J.J.M., *Cone Penetration Testing in Geotechnical Practice*, CRC Press, Londyn, UK, 1997.

14. Masters T.A., Juskiewicz P., Mandolini A., Christian H., *A Critical Appraisal of the Benefits of and Obstacles to Gaining Quality Data with Offshore Seismic CPT and P-S Logging*, Offshore Technology Conference, Houston, Teksas, USA, 2018.
15. Muir Wood A., Knight P., *Site Investigation and Geotechnical Design Strategy for Offshore Wind Development*, 18th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Paryż 2013.
16. *Offshore Site Investigation and Geotechnics Committee: Guidance Notes for the Planning and Execution of Geophysical and Geotechnical Ground Investigations for Offshore Renewables Energy Developments*, 2022.

Źródła internetowe

17. <https://nardiaptap.wixsite.com>.

18. www.robertson-geo.com.



Patryk Juskiewicz – absolwent Wydziału Inżynierii Lądowej i Środowiska Politechniki Gdańskiej. Od początku kariery zawodowej pracujący jako inżynier w obszarze rozpoznania geotechnicznego, m.in. pod podmorskie rurociągi i kable energetyczne, fundamenty morskich farm wiatrowych. Nadzorował od strony technicznej oraz brał udział w kampaniach geotechnicznych wykonywanych dla celów inwestycji morskich farm wiatrowych oraz przemysłu ropy i gazu na rynkach europejskim, azjatyckim oraz amerykańskim. Obecnie pełni funkcję starszego eksperta ds. geotechniki w projektach Morskich Farm

Wiatrowych w PGE Baltica. Zajmuje się rozpoznaniem warunków gruntowych poprzez planowanie oraz prowadzenie kampanii geotechnicznych i badań laboratoryjnych.

Monografia *Wybrane zagadnienia zarządzania ryzykiem w przemyśle offshore* jest kontynuacją i uzupełnieniem publikacji *Zarządzanie ryzykiem w przemyśle offshore*. Obie pozycje opracowano w ramach studiów podyplomowych *Zarządzanie ryzykiem w morskim przemyśle wydobywczym i energetyce wiatrowej*, realizowanych na Wydziale Nawigacyjnym Uniwersytetu Morskiego w Gdyni. Rozdziały, podobnie jak poprzednio, zostały przygotowane przez wykładowców, absolwentów i uczestników studiów, pod redakcją dr hab. Agnieszki Blokus-Dziula, kierownika tych studiów. Tym razem dotyczą bezpieczeństwa w żegludzie morskiej oraz sektorze MEW, analizy oddziaływań pomiędzy morskimi farmami wiatrowymi a środowiskiem, infrastruktury krytycznej w energetyce, kampanii geotechnicznych oraz innych zagadnień z zakresu tematyki studiów. Chcąc dołożyć kolejny element, umożliwiający osobom wchodzącym w świat branży morskiej energetyki wiatrowej i przemysłu wydobywczego, choć nie tylko, poszerzenie zakresu wiedzy lub spojrzenie z innej perspektywy na znane zagadnienia i problemy, proponujemy Państwu niniejszą publikację.

